CAPÍTULO 17 · Parte I · Deterioração e ensaios
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/bhzbk254
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/b62cxr20

INTERVIR em ESTRUTURAS EXISTENTES: da ESCOLA à PRÁTICA

Thomaz Ripper[1]*, João Victor Martins[2]*
*Autor de contato: **thomazripper@mail.telepac.pt; jv.martins16@gmail.com**

[1] Thomaz Ripper Engenharia, Cascais, Portugal
[2] São Paulo, Brasil

RESUMO

A década de 1970 assinalou o aparecimento do campo da reabilitação de estruturas de concreto armado, resultante tanto do envelhecimento do edificado quanto da evolução do estado-da-arte. As intervenções iniciais centraram-se no incremento da resistência e da rigidez estrutural. Cerca de duas décadas mais tarde, o foco deslocou-se para a durabilidade, estimulando o desenvolvimento de diversas soluções destinadas à reposição do ambiente alcalino das armaduras. Já no século XXI, emergiram alternativas aos métodos tradicionais de reforço. Atualmente, observa-se uma mudança de paradigma, com a gestão e monitoramento de ativos estruturais a integrar abordagens baseadas em aprendizado de máquina, para uma gestão mais eficiente da informação ao longo da vida útil das estruturas, além de obras de *retrofit (upgrading)* que, ao compreenderem várias especialidades, trazem desafios singulares a engenharia estrutural Em todos esses ciclos, contudo, manteve-se uma fragmentação entre o ensino – maioritariamente discreto – e a prática profissional, de caráter intensivo. Propõe-se, assim, neste texto, uma articulação entre teoria, metodologia e prática, contribuindo criticamente e com rigor técnico para a garantia de resiliência estrutural.
Palavras-chave: recuperação; retrofit; resiliência; aprendizado de máquina, estado-da-arte.

ABSTRACT

The 1970's marked the emergence of the field of reinforced concrete structure rehabilitation, resulting both from the ageing of the urban fabric and from advances in the state-of-the-art. Initial interventions focused on increasing structural strength and stiffness. Around two decades later, the focus shifted to durability, stimulating the development of various solutions aimed at restoring the alkaline environment of reinforcement embedded in concrete. In the 21st century, alternatives to traditional strengthening methods emerged. At present, a paradigm shift is observed, with the management and monitoring of structural assets incorporating machine learning–based approaches for more efficient information management throughout the service life of structures, alongside retrofit (upgrading) works which, by encompassing multiple disciplines, pose unique challenges to structural engineering. Throughout all these cycles, however, a fragmentation has persisted between education – largely discrete – and professional practice, of an intensive nature. This text therefore proposes an articulation between theory, methodology and practice, contributing critically and with technical rigour to ensuring structural resilience.
Keywords: repair; retrofit; resilience; machine learning; state-of-the-art.

1. INTRODUÇÃO

Este documento apresenta uma revisão histórica das diversas nuances atravessadas pelo segmento de Intervenção em Estruturas Existentes, área que adquiriu crescente relevância na Construção Civil brasileira desde a década de 1970 e que atualmente representa parcela estratégica do mercado. O setor enfrenta, desde sempre, exigentes desafios, como, atualmente, a incorporação de tecnologias avançadas de inspeção, modelagem das construções existentes, dimensionamento estrutural, critérios de projeto, métodos de execução e sistemas de manutenção preventiva.

O texto não se caracteriza como pesquisa inédita, mas como uma compilação técnico-crítica fundamentada na experiência dos autores e na evolução histórica das práticas de recuperação estrutural, com ênfase na relação entre o estado-da-arte e a respectiva regulamentação. O objetivo central consiste em analisar a evolução técnica e mercadológica das intervenções em estruturas existentes ao longo dos últimos sessenta anos, destacando a necessidade de revisão dos modelos de ensino e formação profissional. Nesse contexto, são propostas diretrizes para atualização curricular das disciplinas ainda na graduação, visando a formação de profissionais aptos a conduzir intervenções tecnicamente seguras, duráveis e confiáveis.

Adicionalmente, discutem-se aspectos relativos à estruturação de uma disciplina específica voltada à Patologia das Estruturas de Concreto Armado, com abordagem predominantemente prática, a partir da atualização das disciplinas de Estruturas e Materiais de Construção. A proposta considera as Diretrizes Curriculares Nacionais estabelecidas pela Resolução nº 2, de 24 de abril de 2019, incorporando conteúdos relacionados a novos materiais, como polímeros reforçados com fibras (FRP), bem como métodos inovadores de inspeção, caracterização de anomalias e estimativa de parâmetros físico-mecânicos de materiais resistentes com apoio de técnicas de *machine-learning*.

2. METODOLOGIA

A abordagem adotada neste trabalho possui caráter reflexivo e retrospectivo, fundamentando-se na análise da evolução do estado-da-arte das intervenções em estruturas existentes e de sua relação com o desenvolvimento dos conceitos de resiliência, durabilidade, e desempenho estrutural.

O texto parte do entendimento de que toda construção projetada se torna, a curto prazo, numa construção existente a partir do início de sua utilização, seja como habitação, seja como objeto viário. Assim, as intervenções estruturais são tratadas como campo integrado do conhecimento, demandando abordagem multidisciplinar e interpretação crítica das condições de habitabilidade, seguindo os conceitos seculares de Le Corbusier e Heidegger, com bem sintetiza Anderson (2021).

A análise proposta valoriza o diagnóstico como atividade técnica complexa, não restrita à simples identificação de anomalias, antes privilegiando a proficuidade da inspeção, a interpretação dos mecanismos de deterioração e a adequada correlação entre causas, processos e efeitos, reconhecendo a importância da experiência técnica e da capacidade analítica do inspetor. Tal entendimento encontra respaldo em referências clássicas da área, como nas reflexões apresentadas por Jörg Schneider e Ton Vrouwenvelder no documento publicado pela IABSE em 2017.

As principais referências bibliográficas para o efeito utilizadas compreendem documentos normativos, publicações técnico-científicas e registros de obras representativas, elementos considerados fundamentais para a compreensão da evolução das práticas de intervenção estrutural em construções existentes e de sua consequente consolidação na regulamentação técnica aplicável.

3. PROLEGÔMENOS DA RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL NO BRASIL (1970, 1980)

A consolidação da recuperação estrutural no Brasil decorreu, principalmente, da conjugação de três fatores: a perda prematura de desempenho de estruturas de concreto armado, em especial por corrosão das armaduras; a evolução do estado-da-arte, marcada, em particular, pela publicação dos Boletins 72 e 73 do CEB, ambos de 1970; e o aumento da demanda construtiva nos grandes centros urbanos brasileiros, aproveitando o existente, por já não existir espaço para novas construções.

Nesse contexto, surgiram as primeiras empresas especializadas em recuperação estrutural, destacando-se a JATOCRET, fundada em 1967, e a CONCREJATO, fundada em 1973, esta última beneficiada pela experiência acumulada da CONCREMAT, referência nacional em tecnologia e controle do concreto desde 1952.

A principal técnica empregada desde sempre foi o concreto projetado, cuja rapidez executiva, viabilizou intervenções em larga escala e estabeleceu as bases técnicas da recuperação estrutural no país. O domínio dessa tecnologia permitiu, já na década de 1980, a exportação de conhecimento técnico brasileiro para países da Europa e da África. A recuperação dos pilares do Pavilhão de São Cristóvão, executada pela CONCREJATO em 1978, constituiu marco relevante desse período e correspondeu também ao primeiro projeto de Thomaz Ripper, coautor deste texto.

Figura 1 – A recuperação da cobertura do Estádio Maracanãzinho pela JATOCRET, em 1970



Fonte: Revista AMIGA, 1970.

À época, o concreto projetado era aplicado exclusivamente por via seca, utilizando máquinas de câmara dupla derivadas do modelo N2 da *Allentown* (Figura 2), posteriormente incorporada pela Putzmeister. O processo permitia obter material com elevada compacidade, resistência mecânica e alcalinidade, características essenciais à reconstituição da proteção das armaduras.

Figura 2 – Máquina de projeção de concreto modelo Allentown N2.



Fonte: *website* da ALLENTOWN

As intervenções, na primeira década da recuperação estrutural brasileira, caracterizavam-se por abordagem predominantemente empírica, baseada na observação do quadro fissuratório, identificação de focos de segregação no concreto e avaliação visual do estado de conservação.

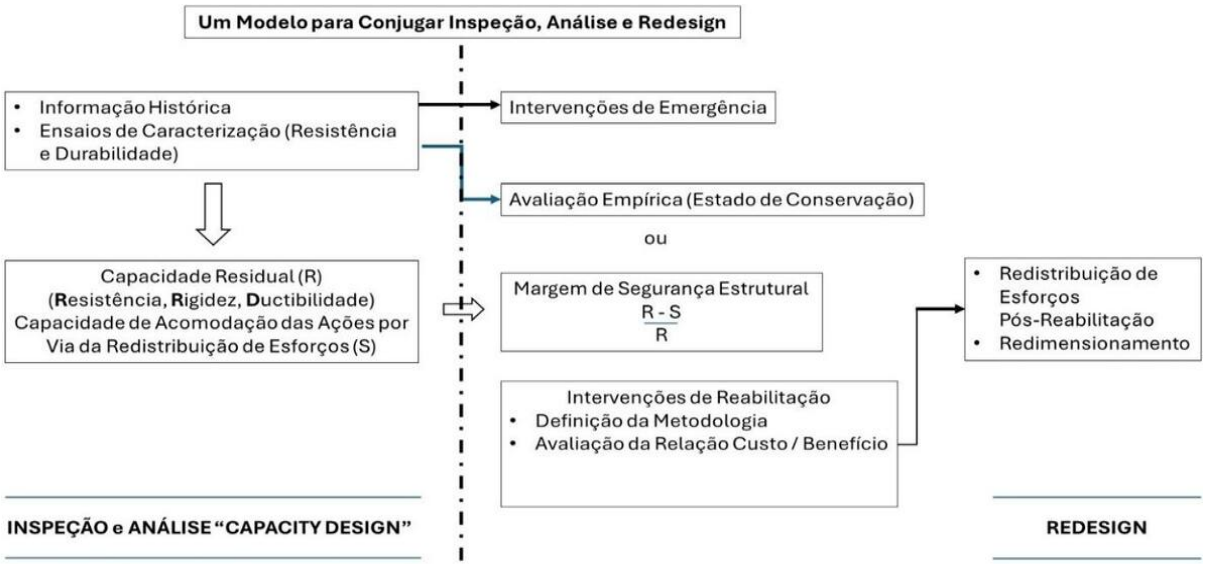
A verificação da capacidade residual dos componentes estruturais era conduzida com base no *capacity design*, incluindo a contribuição parcelar das armaduras existentes, corroídas. Os reforços, quando necessários, eram executados pela incorporação localizada de novas barras de aço.

Os procedimentos de reparo envolviam a remoção do concreto deteriorado até ultrapassar em aproximadamente 20 mm o plano das armaduras, seguida da limpeza das superfícies por jateamento de água ou areia úmida sob média pressão e posterior recomposição das seções com concreto projetado em via seca, que constituí massa alcalina muito compacta, protetora das armaduras.

A prática de avaliação estrutural adotada naquele período distinguia-se pela busca do aproveitamento máximo da capacidade resistente remanescente, evitando reforços desnecessários e minimizando a introdução de novas armaduras, que constituem obstáculo à aplicação do material cimentício de reposição, em particular nas zonas mais interiores ao plano das armaduras.

A consolidação conceitual da área ocorreu na década de 1980, especialmente com a publicação do Boletim 162 do CEB, em 1983, pioneiro na sistematização dos procedimentos de inspeção, verificação estrutural e dimensionamento de reforços (*redesign*). O documento estabelece critérios integrados para avaliação da capacidade residual, redistribuição de esforços e correlação entre inspeção, durabilidade e reforço estrutural, conceitos que permanecem atuais,

Figura 3 – *Workflow* para inspeção e *redesign (retrofit)*.



Fonte: autores, adaptado do Boletim n.º 162 do CEB (1983).

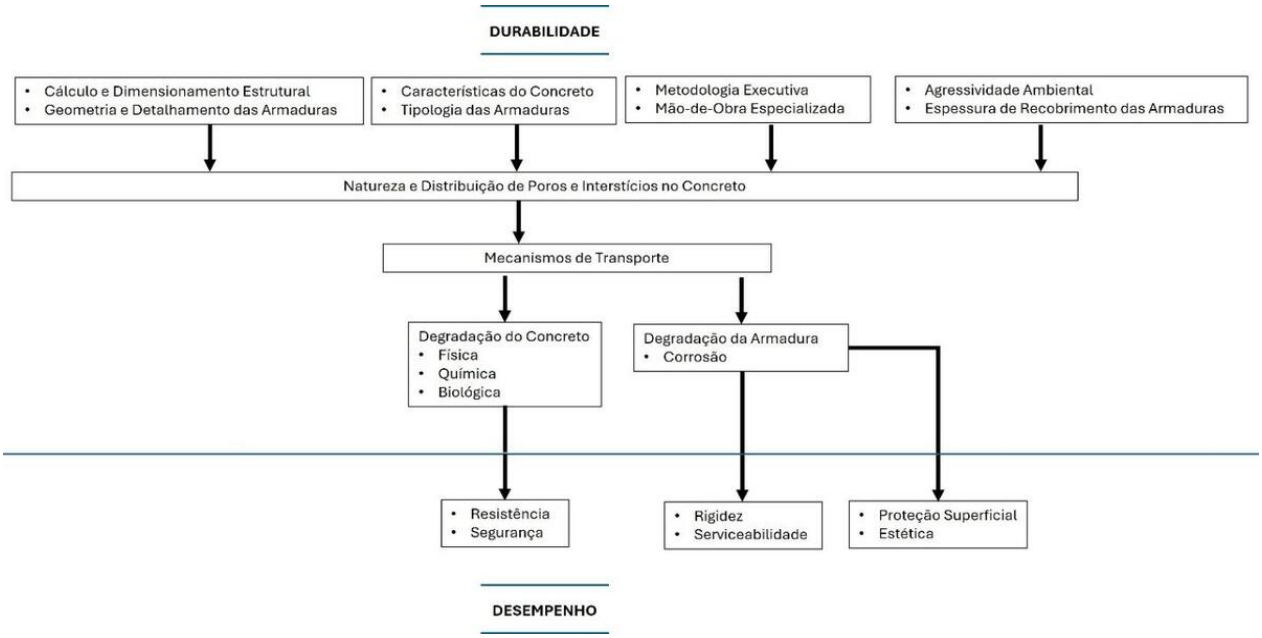
Paralelamente, o Boletim 148 do CEB introduziu, de forma mais aprofundada, os conceitos de durabilidade aplicados às estruturas existentes, promovendo mudança significativa na prática das intervenções. Até meados da década de 1980, os projetos de recuperação concentravam-se predominantemente no restabelecimento da resistência e da rigidez estrutural. A partir de então, a durabilidade passou a assumir papel central, incorporando atividades sistemáticas de inspeção, ensaios *in situ*, avaliação do estado de conservação e previsão de vida útil, o que ampliou significativamente a participação de profissionais de tecnologia do concreto nas intervenções.

Apesar da crescente relevância técnica e econômica do setor, persistia a inexistência, naquele período, de formação acadêmica específica em recuperação estrutural. Assim, profissionais originalmente formados para o projeto de estruturas novas passaram, muitas vezes de improviso, a adaptar seus conhecimentos às particularidades das construções existentes. Mesmo diante da expansão do mercado, os cursos de Engenharia Civil não contemplavam, de forma estruturada, os fundamentos técnicos e metodológicos das intervenções em estruturas existentes.

4. DURABILIDADE: UMA QUESTÃO FULCRAL NA RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL

A consolidação da durabilidade como requisito central das intervenções estruturais ocorreu em 1989, com a publicação do Guia para Concretos Duráveis pelo CEB, sob a coordenação por Steen Rostam. O documento, direcionado especificamente aos profissionais atuantes na recuperação estrutural, sistematizou os mecanismos de degradação do concreto armado e os fatores que condicionam sua evolução, integrando, de forma consistente, os conceitos de durabilidade, segurança e rigidez estrutural, comportamento em serviço e proteção dos componentes estruturais.

Figura 4 – Relação entre os conceitos de durabilidade e desempenho em concreto armado.



Fonte: autores, adaptado do CEB (Guia para Concretos Duráveis, 1989).

A partir desse marco, o mercado passou a incorporar, de maneira simultânea, critérios de resistência, rigidez, serviceabilidade e vida útil nas estratégias de intervenção. Em resposta, grandes empresas internacionais desenvolveram produtos e sistemas voltados ao restabelecimento da alcalinidade da matriz cimentícia e à proteção das armaduras, por meio de inibidores migratórios, revestimentos protetores e materiais de reparo especializados.

Nesse contexto, destaca-se a recuperação das docas secas da Setenave, em Setúbal, Portugal, executada em 1991 sob responsabilidade técnica de Thomaz Ripper. A intervenção envolveu extensa recomposição de seções por concreto projetado, via seca, rigoroso controle tecnológico e monitoramento contínuo das propriedades reológicas e da ação de agentes agressivos e mecanismos de degradação. A participação de Steen Rostam como consultor de controle de qualidade permitiu a aplicação prática dos conceitos estabelecidos no Guia para Concretos Duráveis (1989). A obra foi classificada pela *American Shotcrete Association* como "*Shotcrete Classic*", em 2004.

A regulamentação brasileira acompanhou essa evolução com relativa defasagem temporal. A partir da década de 1990, foram publicadas normas específicas sobre a aplicação de concreto projetado, como a NBR 13597 (1996) e a NBR 14279 (1999), ambas voltadas à aplicação por via seca. Contudo, tais documentos ainda não incorporavam critérios explícitos na vertente durabilidade.

Durante a década de 1990, as empresas especializadas em recuperação estrutural passaram a investir de forma mais sistemática na caracterização dos agentes agressivos e dos mecanismos de deterioração, mediante inspeções detalhadas e ensaios de campo específicos. Como consequência, consolidou-se o uso intensivo de produtos industrializados para reparo e proteção estrutural – argamassas, *grouts*, resinas, inibidores de corrosão e revestimentos – enquanto os reforços estruturais frequentemente permaneciam limitados à ampliação direta da seção resistente, raramente incorporando, como anteriormente, os conceitos de *capacity design*.

Gradualmente, as estratégias de inspeção, ensaio e diagnóstico passaram a integrar as intervenções, deslocando o foco das ações corretivas pontuais para a ampliação da vida útil das estruturas. Nesse cenário, o controle da corrosão das armaduras assumiu papel predominante, tornando essencial a definição do momento adequado para intervenção, especialmente durante a fase de propagação dos processos corrosivos, em consonância com o modelo proposto por Tuutti, em 1982.

Figura 5 – Modelo básico de degradação por corrosão das armaduras embebidas no concreto.



Fonte: autores, com base em Tuutti (1982).

A década final do século XX foi marcada por intensa atividade de pesquisa voltada à correlação entre resultados de ensaios de durabilidade e avaliação do estado de conservação das estruturas existentes, na qual profissionais brasileiros participaram ativamente. Nesse período, órgãos federais e estaduais ligados à infraestrutura viária, como o DNIT (antigo DNER, 1980), passaram a desenvolver manuais de inspeção e classificação do estado de conservação de obras de arte especiais, ainda que baseados em metodologias predominantemente empíricas.

Apesar da expansão técnica e mercadológica do setor, persistia a ausência de formação acadêmica específica em recuperação estrutural – à exceção de algumas iniciativas nos países nórdicos. Os temas relacionados à degradação do concreto armado, agentes agressivos e mecanismos de deterioração passaram a ser abordados apenas de forma parcial nas disciplinas de Tecnologia do Concreto, sem a consolidação de uma formação integrada voltada às intervenções em estruturas existentes.

5. A CONSOLIDAÇÃO DO CONCEITO DE DESEMPENHO NO NOVO MILÊNIO

A consolidação do conceito de desempenho estrutural decorre da integração entre os requisitos de resistência, rigidez e durabilidade, exigindo abordagem abrangente que se inicia na inspeção da estrutura e se estende ao diagnóstico, à avaliação da capacidade resistente, ao eventual dimensionamento de reforços e à previsão da vida útil remanescente após a intervenção.

Essa abordagem possui caráter necessariamente multidisciplinar e elevado grau de subjetividade, especialmente nas etapas de inspeção e diagnóstico, para as quais não existem procedimentos universais plenamente consolidados. Embora haja propostas metodológicas consistentes, a avaliação de estruturas existentes permanece fortemente dependente da experiência técnica e da interpretação do inspetor.

As inspeções baseiam-se, em geral, na análise documental da estrutura, na observação visual das manifestações patológicas, em ensaios *in situ* e na identificação de vulnerabilidades inerentes à tipologia estrutural. O conhecimento para a formulação do diagnóstico resulta, portanto, da integração entre histórico documental, qualidade das inspeções e informações resultantes de ensaios. Nesse contexto, a interpretação dos dados obtidos em campo e sua incorporação à análise estrutural constituem atividades complexas e frequentemente não consensuais.

Segundo os já citados Jörg Schneider e Ton Vrouwenvelder (2017), a segurança de uma estrutura existente não representa uma propriedade intrínseca, mas a interpretação técnica de seu estado de conservação e comportamento estrutural. Dessa forma, avaliações distintas podem coexistir legitimamente, refletindo diferentes níveis de experiência, conhecimento e informação disponível. Ainda assim, a prática demonstra que a subjetividade inerente ao diagnóstico pode ser mitigada pela ampliação do conhecimento objetivo sobre a estrutura, mediante inspeções aprofundadas, investigação documental, ensaios e comparação com casos similares. A confiabilidade passa, então, a constituir ferramenta fundamental de calibração das decisões técnicas.

Intervir em estruturas existentes exige, portanto, elevado nível de conhecimento sobre o objeto analisado. Investigar, inspecionar, monitorar e ensaiar representam etapas essenciais para a gestão da confiabilidade da informação e para a redução das incertezas associadas ao diagnóstico e à intervenção. Quanto maior o nível de conhecimento adquirido, maior a confiabilidade da avaliação estrutural e menor a necessidade de penalizações excessivas nos coeficientes de incerteza adotados.

Sob essa perspectiva, o desempenho estrutural relaciona-se diretamente à capacidade da construção de manter, ao longo da vida útil prevista, níveis aceitáveis de segurança, funcionalidade e durabilidade sob condições de risco controlado, conforme discutido por Jan Bijen (2003).

No Brasil, a incorporação mais consistente desses conceitos ocorreu com a revisão da NBR 6118 em 2003, que introduziu critérios associados à vida útil de projeto (VUP) e à classificação da agressividade ambiental (CAA). A norma passou a relacionar a durabilidade das estruturas de concreto armado a parâmetros como relação água/cimento, resistência à compressão mínima e cobrimento das armaduras, visando à mitigação dos efeitos da carbonatação e da penetração de cloretos, agentes agressores mais frequentes para os componentes estruturais em concreto armado.

De forma objetiva, a NBR 6118 estabelece que as estruturas de concreto devem ser projetadas e executadas de modo a conservar, durante sua vida útil prevista e sob as condições ambientais consideradas em projeto, níveis adequados de segurança, estabilidade e aptidão em serviço.

6. AS EXIGÊNCIAS E OS DESAFIOS PARA ACOMPANHAR O ESTADO-DA-ARTE

A evolução das intervenções em estruturas existentes intensificou-se a partir da década de 1990, impulsionada pelo avanço simultâneo das pesquisas em durabilidade, confiabilidade e resiliência estrutural. Esse desenvolvimento evidenciou a insuficiência dos regulamentos originalmente voltados às construções novas e exigiu a reformulação dos modelos normativos aplicáveis às estruturas existentes.

Nesse contexto, destacam-se os Eurocódigos, implantados a partir de 2007 nos países da comunidade europeia (regulados em pleno a partir de 2010, por via de documento CEN/TC 250) e posteriormente adotados, total ou parcialmente, em diversos países da África, Ásia, Europa Oriental e América do Sul. A regulamentação europeia passou a contemplar as estruturas existentes de forma mais sistemática, especialmente por meio da parte 3 do Eurocódigo 8.

O EC8-3 introduziu abordagem inovadora ao relacionar os coeficientes de incerteza e os níveis de segurança estrutural ao grau de conhecimento disponível sobre a estrutura existente. O conceito incorpora informações históricas da construção, intervenções anteriores, inspeções, levantamentos geométricos e caracterização físico-mecânica dos materiais, estabelecendo relação direta entre confiabilidade da avaliação e qualidade da informação disponível.

Paralelamente, consolidou-se a necessidade de regulamentação específica para produtos e sistemas de reparo e reforço estrutural. Entra assim em vigor, em 2009, a série EN 1504 (dez partes), considerada referência internacional para intervenções em estruturas de concreto. A norma define responsabilidades técnicas de projetistas, fornecedores, executores e proprietários, estabelecendo critérios integrados de desempenho estrutural, durabilidade, aplicação e acabamento.

A parte 9 da EN 1504, dedicada aos princípios gerais de utilização de produtos e sistemas, consolidou os onze princípios fundamentais aplicáveis à proteção, reparo, reforço e manutenção de estruturas de concreto armado, integrando os conceitos clássicos de segurança, funcionalidade e estética associados à tríade vitruviana: firmitas, utilitas e venustas (Perrault, 1684).

A regulamentação europeia passou, assim, a atribuir ao projetista a plena responsabilidade pela definição das estratégias de intervenção, cabendo aos fornecedores garantir o desempenho especificado dos materiais e aos executores assegurar sua correta aplicação. Aos proprietários e usuários compete a manutenção das condições de conservação ao longo da vida útil da estrutura.

Nas últimas duas décadas, o desenvolvimento de novos materiais e técnicas de reforço estrutural impulsionou revisões conceituais. Destacam-se, nesse cenário, os estudos para a segunda geração dos Eurocódigos, conduzidos pelo CEN, com maior ênfase em estruturas existentes, bem como os Model Codes publicados pela *fib* em 2010 e 2020. Este último representa avanço significativo ao propor abordagem integrada para construções novas e existentes, abrangendo ensino, pesquisa e prática profissional sob fundamentos conceituais unificados.

A regulamentação norte-americana apresenta abordagem menos abrangente. Merece destaque o ACI CODE-552, publicado em 2025, que referencia o Eurocódigo 2, o Model Code 2010 e o International Existing Building Code (IEBC) de 2024. O documento enfatiza a necessidade de atualização do desempenho estrutural de edificações concebidas segundo critérios normativos obsoletos.

No Brasil, ainda não existe regulamentação específica e integrada para intervenções em estruturas existentes. A prática fundamenta-se na aplicação combinada das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas, especialmente as NBR 6118, NBR 14931 e NBR 15575, complementadas por normas de manutenção, gestão de reformas, recomendações técnicas e manuais especializados, com destaque para os documentos produzidos pela ABECE.

No caso das obras de arte especiais, a regulamentação brasileira permanece fragmentada, concentrando-se principalmente nas NBR 9452 (2019) e NBR 16230 (2013), além de manuais técnicos emitidos por órgãos federais, estaduais e municipais. O sistema também demanda maior uniformização dos critérios de avaliação do estado de conservação dos diferentes componentes estruturais, incluindo elementos de concreto, juntas de dilatação e aparelhos de apoio.

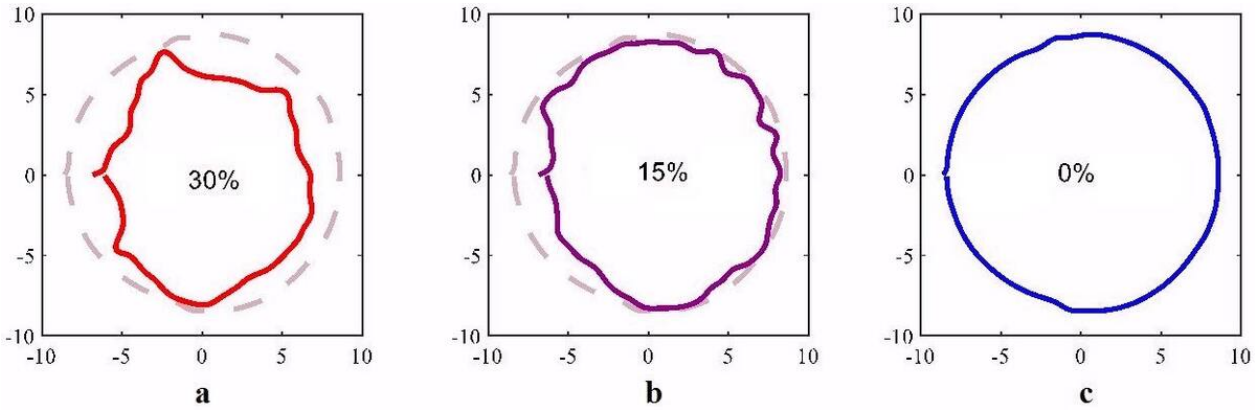
Destaca-se, nesse contexto, a recente iniciativa da ABECE (2026) voltada à qualificação técnica para gestão e inspeção de obras de arte especiais, reforçando a necessidade de formação universitária específica em intervenções em estruturas existentes desde os cursos de graduação (bacharelato) em Engenharia Civil.

7. O MERCADO DE INTERVENÇÃO EM CONSTRUÇÕES EXISTENTES E A FORMAÇÃO REQUERIDA

A década em que vivemos obriga, em qualquer tipo de atividade e, muito particularmente, no pulsante mercado da Construção Civil, atualização muito frequente do conhecimento e aprendizagem, exigindo que sejam formadas bases de dados sobre intervenções passadas e atuais, regulamentos, histórico de intervenções, e registos, de processos de monitoração estrutural, fotográficos e/ou videográficos, com recurso à equipamento de alta resolução.

Esta aprendizagem deve ser selecionada em função dos *inputs* e contemplar rigoroso questionamento dos *outputs*, por forma a tornar-se uma ferramenta poderosa, como o trabalho de banco de imagens de barras corroídas para avaliação do diâmetro equivalente que integra o DEMSA Protocol (2022).

Figura 6 – Exemplos de redução da seção transversal de barras por corrosão.



Fonte: DEMSA Protocol (2022).

O mercado exige a concretização da integração, para a qual é fundamental que os processos de *machine-learning* sejam rápida e confiavelmente integrados no universo da avaliação de construções existentes, o que requer formação de base e conhecimento, para que qualquer experiência possa ser traduzida em melhoria de desempenho.

Um bom exemplo do quão avançado pode ser o recurso aos métodos preditivos a partir do aprendizado de máquina é a muografia para caracterização físico-mecânica do concreto. Trata-se de uma técnica de imageamento baseada em múons cósmicos, que são partículas produzidas quando raios siderais interagem com a atmosfera terrestre. Assim, é possível perceber a densidade de um material de forma não destrutiva ao se utilizar a atenuação ou o desvio de um feixe de múons ao atravessar um bloco material, emergindo assim uma nova visibilidade técnica da matéria, princípio que vai ao encontro das perspectivas de Foucalt (1966), organizando o conhecimento.

Neste domínio, Corradetti (2026) apresenta um estudo em *Neural Network* para caracterização da densidade do concreto (de granulometria controlada) e, a partir de então, do módulo de elasticidade e da resistência à compressão do material, com recurso a detetores planares de múons (e de ruído específico) e à rotina de inversão de Monte Carlo (que contou com a participação, na análise dos *inputs* e *outputs*, de Thomaz Ripper, um dos autores deste texto). Este trabalho mostrou que a muografia, se adequadamente tratada, é capaz de levar a resultados consistentes, permitindo alvitrar que se trata de um ótimo método não-destrutivo de caracterização do concreto e trazendo maior exigência para os futuros (próximos) regulamentos e realizações (projetos, obras).

Figura 7 – Posicionamento dos planares para a contagem de múons.



Fonte: Corradetti e Costa (2026).

Há que ter presente que o mercado da construção civil brasileiro atravessa um momento de elevada complexidade estrutural. De um lado, tem-se um parque edificado envelhecendo rapidamente; de outro, enfrenta-se uma redução no interesse pela formação em engenharia civil e uma crescente escassez de mão-de-obra qualificada para atuar nas obras e serviços especializados.

Dado emblemático do cenário presente (futuro?) é que cerca de 80% dos edifícios que existirão em 2050 já estão construídos atualmente. Isso demonstra que o futuro das cidades dependerá menos da expansão urbana tradicional e muito mais da capacidade de recuperar, adaptar, manter e requalificar as estruturas já existentes.

É notório que o setor da construção civil enfrenta, no Brasil (e não só) uma crise de capital humano. Estudos recentes da FGV IBRE (2024) apontam que mais de 70% das empresas de construção tiveram dificuldades para contratar trabalhadores qualificados, especialmente em atividades técnicas e especializadas. A consequência direta é o aumento dos custos da construção, atrasos em cronogramas e maior pressão sobre produtividade e qualidade das obras.

Essa dificuldade não se limita apenas à mão-de-obra operacional. Existe desinteresse pela carreira de Engenharia Civil, motivado por fatores como percepção de baixa valorização profissional, elevada carga de formação, insegurança do mercado e perda de atratividade da profissão.

O relatório "O Futuro das Engenharias no Brasil 2023", elaborado pela MÚTUA (2023), entre 2014 e 2020, aponta uma queda de mais de 30% nas matrículas em cursos presenciais de engenharia nas universidades particulares; o mesmo estudo aponta que 39,2% dos cursos são considerados de "baixo desempenho", segundo avaliação do ENADE. O resultado é um possível déficit futuro de profissionais qualificados justamente quando o país mais necessitará de especialistas capazes de lidar com recuperação estrutural, retrofit e manutenção de edificações envelhecidas.

O problema se torna ainda mais crítico quando se constata que grande parte das grades curriculares dos cursos de Engenharia Civil no Brasil continua fortemente direcionada à construção nova (*fib* , 2018), com pouca ênfase em disciplinas relacionadas à manutenção predial, durabilidade, inspeção, patologia das construções, *retrofit* e reabilitação estrutural. Constata-se, portanto, existir uma desconexão entre a realidade futura do mercado e a formação técnica atualmente oferecida pela generalidade das universidades. Na prática, o país caminha para um cenário em que:

- • as edificações envelhecem;
- • aumenta a necessidade de recuperação e modernização do patrimônio construído;
- • diminui a disponibilidade de engenheiros e técnicos qualificados;
- • e cresce a escassez de mão de obra especializada na execução das obras.

8. CONCLUSÕES

Pretendeu-se, com as reflexões tratadas neste documento, evidenciar fato relevante para toda a cadeia da Construção Civil, na medida da maior demanda no investimento de reconversão de construções exigentes, gerando um desafio que exige mudanças na formação acadêmica, maior valorização técnica e qualificação específica de profissionais voltados para caracterização, retrofit e manutenção das estruturas existentes. Os autores entendem que a alteração de ordem necessária deverá, a curto/médio prazo, passar pela revisão curricular incluindo, em simultâneo:

- nas cadeiras de licenciatura relacionadas com Materiais de Construção e Tecnologia do Concreto, incluir a abordagem aos mecanismos de agressão ao concreto e ao aço e os consequentes mecanismos de degradação, introduzindo, de imediato, os conceitos de durabilidade e vida útil das construções;
- também na cadeira de Materiais de Construção, dar a conhecer, aprofundadamente, materiais de última geração, como os compósitos que estão a ser utilizados em armaduras convencionais e para reforço de estruturas existentes (vide a reabilitação do estádio do Maracanã, cujo projeto é da autoria de Thomaz Ripper, 2013), com discussão das características físico-mecânicas tanto das matrizes aglutinantes (resinas epóxidas, de viniléster, poliamidas, cimentícias), como das armaduras resistentes (fibras de carbono, vidro, aramida, poliéster) dos sistemas FRPs;

- nas cadeiras de Projeto e Dimensionamento de Estruturas de Concreto Armado, valorizar a os temas de verificação da capacidade residual das estruturas e sua consequente resiliência, da ductibilidade e da capacidade de redistribuição de esforços, chamando a atenção para a necessidade de se ter maior conhecimento sobre as estruturas existentes como um meio de poder controlar a atribuição dos coeficientes de incerteza, reduzindo, de forma direta, o custo das intervenções;
- incluir o dimensionamento coma armaduras alternativas (FRPs), originais ou de reforço;
- demonstrar o desafio do aprendizado contínuo, identificando as máquinas como instrumentos a serviço do profissional e não o contrário, como muitas vezes já acontece, como no recurso a *softwares* de cálculo automático, muitas vezes utilizados sem critério.

9. REFERÊNCIAS

ABECE – Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural – **Recomendação Técnica: Gestão de Obras de Arte Especiais**. São Paulo, 2026.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto** – Procedimento. Rio de Janeiro, 2023.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 9452: Inspeção de Pontes, Viadutos e Passarelas de Concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2019.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 13597: Procedimento para Qualificação de Mangoteiro de Concreto Projetado Aplicado por Via Seca**. Rio de Janeiro, 1996.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 14931: Execução de Estruturas de Concreto Armado, Protendido e com Fibras – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2023.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 14279: Concreto Projetado – Aplicação por Via Seca – Procedimento**. Rio de Janeiro, 1999.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR15575-1: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos para os Sistemas Estruturais**. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR15575-2: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 2: Requisitos Gerais**. Rio de Janeiro, 2021.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 16230: Inspeção de Estruturas de Concreto** – **Qualificação e Cerificação de Pessoal – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2013.

ACI CODE-552-25 – **Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures – Code and Commentary**. ACI, Farmington Hills, Michigan, USA, 2025.

ALLENTOWN N2 Pneumatic Gun. Disponível em https://www.putzmeister.com/web/northamerica/product-detail/-/product/2701/n2-pneumatic-gun. Acesso em março de 2026.

ANDERSON, R. – **Down to Earth**: Martin Heidegger, Le Corbusier, and the Question of Dwelling, Essentially. Architectural Histories, Volume 9, Issue 1, Birkbeck, University of London, UK, 2021.

BIJEN, J. – **Durability of Engineering Structures: Design, Repair and Maintenance**. Woodhead Publishing, Cambridge, UK, 2003.

CASTELO, A. M.; VIANA, I.; SILVA, H. C. – **Escassez de Mão de Obra Eleva Custos na Construção**. FGV IBRE, São Paulo, 2024.

CEB Information Bulletin 72. **CEB-FIP International Recommendations for the Design and Construction of Concrete Structures. Vol. 1 – Principles and Recommendations**. Paris, 1970.

CEB Information Bulletin 73. **CEB-FIP International Recommendations for the Design and Construction of Concrete Structures. Vol. 2 – Appendixes (Proposals)**. Paris, 1970.

CEB Bulletin n.º 148. **Durability of Concrete Structures. State-of-the-Art Report**. Paris, 1982.

CEB Bulletin 162. **Assessment of Concrete Structures and Design Procedures for Upgrading (Redesign).** Paris, 1983.

CEB Design Guide – **Durable Concrete Structures**. Thomas Telford Services Ltd, London, UK, 1989.

CEN/ISQ – **NP EN 1504 (partes 1 a 10) – Produtos e Sistemas para a Proteção e Recuperação de Estruturas de Betão – Definições, Requisitos, Controle de Qualidade e Avaliação de Conformidade**. Lisboa, Portugal.

CEN/ISQ – **NP EN 1998-3 – Eurocódigo 8 – Projeto de Estruturas para Resistência aos Sismos – Parte 3: Avaliação e Reabilitação de Edifícios** (EC8-3). Lisboa, Portugal.

CEN/TC 250 – **Structural EuroCodes. Policy Guidelines and Procedures**. Brussels, Belgium, 2010.

CORRADETTI, D.; COSTA, J. P. – **A Physics-Informed Neural Network for Muographic Density Estimation in Concrete**. EPIA, Funchal, Ilha da Madeira, Portugal, 2026.

DEMSA Protocol: Casprini, Elena; Passoni, Chiara; Marini, Alessandra; Bartoli, Gianni – **Deterioration Effect Modelling for Structural Assessment of RC Buildings – Deterioration Effect Modelling for Structural Assessment**. Buildings Journal, MPDI, Basel, Switzerland, 2022;

DNER – Departamento Nacional de Nacional de Estradas de Rodagem – Instituto de Pesquisas Rodoviárias – **Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias (IPR-709)**. Rio de Janeiro, 1980.

fib STRUCTURAL CONCRETE – MATTHEWS, S.; BIGAJ-VAN VLIET, A.; WALRAVEN, J.; MANCINI. G.; DIETEREN, G. – *fib* Model Code 2020. **Towards a General Code for Both New and Existing Concrete Structures**. Lausanne, Switzerland, 2018.

FOUCAULT, M. – **Les Mots et les Choses** – Éditions Gallimard, Paris, France, 1966.

JRC/EUROPEAN COMMISSION – **New European Technical Rules for the Assessment and Retrofitting of Existing Structures. Policy Framework**. Luxembourg, 2015.

INTERNATIONAL CODE COUNCIL (ICC) – **International Existing Building Code (IEBC)**. Washington D.C., USA, 2024;

Ministério da Educação, Resolução nº 2, de 24 de abril – **Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Gradução em Engenharia**. Brasília, 2019

MÚTUA – Caixa de Assistência dos Profissionais do CREA. **O Futuro das Engenharias no Brasil** [livro eletrônico]. Brasília, Distrito Federal, 2023.

PERRAULT, C. – **Les Dix Livres d'Architecture de Vitruvius... Seconde Edition, Reveuë, Corrigée, & Augmentée**. J. B. Coignard, Paris, France, 1684.

RAUPACH, M.; BÜTTNER, T – **Concrete Repair to EN 1504. Diagnosis, Design, Principles and Practice**. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, Florida, USA, 2014.

REVISTA AMIGA. Disponível em https://festivalesdempb.blogspot.com/2011/01/1970-v-festival-internacional-da-cancao.html. Acesso em março de 2026.

RIPPER, T.; COSTA, J. P.; ALMEIDA, I. R. – **Shotcrete Classic: The Setenave Dry Docks Rehabilitation**. ASA (American Shotcrete Society), Shotcrete Magazine, Wakefield, Massachussets, USA, 2004.

RIPPER, T. – **Projeto e Acompanhamento da Obra de Reforço Estrutural do Estádio do Maracanã**. CINPAR, João Pessoa, 2013.

SCHNEIDER, J.; VROUWENVELDER, T. – **Introduction to Safety and Reliability of Structures**, 3.rd edition – IABSE, Zurich, Switzerland, 2017.

TUUTI, K. – **Corrosion of Steel in Concrete**. CBI Forskning/Research, Cement och. Betonginstitutet, Stockholm, Sweden, 1982.