CAPÍTULO 101 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/by3j7e36
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/t3gc7h46

PLANO DIRETOR DE MANUTENÇÃO EM ESTRUTURAS PORTUÁRIAS: DIAGNÓSTICO, MODELAGEM DE DURABILIDADE E ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO

Marcela B. S. Sollero*[1], Rodrigo T. Santos[1], Manoel M. Freitas Filho[2], Marcio B. Oliveira[2]
*Autor de contato:marcela.barros@concremat.com.br

[1] CONCREMAT Engenharia e Tecnologia S.A., São Paulo, Brasil
[2] COMPLEXO DO PECÉM, São Gonçalo do Amarante, Brasil

RESUMO

As estruturas do Terminal do Pecém, um dos principais complexos logísticos do Brasil, operam expostas a um meio marinho de extrema agressividade, o que demanda estratégias rigorosas para assegurar sua integridade e performance. Visando garantir a continuidade das operações e a preservação do patrimônio, implantou-se um Plano Diretor de Manutenção de Longo Prazo voltado à gestão estratégica de ativos de concreto armado e protendido, com foco na Ponte de Acesso 1, nos Píeres e no TMUT. O artigo aborda como o Plano Diretor foi elaborado com base em inspeções visuais e ensaios para caracterização das estruturas e diagnóstico dos mecanismos de degradação atuantes, permitindo a fundamentação de modelos matemáticos de previsão de vida útil, os quais foram retroalimentados por uma segunda campanha de investigação para ajuste de parâmetros. A abordagem focada no ciclo de vida possibilitou o estabelecimento de diretrizes preventivas e corretivas, projetando prazos, métodos e custos para um horizonte de 25 anos, consolidando-se como uma ferramenta essencial para a sustentabilidade da infraestrutura portuária.
Palavras-chave: inspeção; manutenção; porto.

ABSTRACT

The structures of the Pecém Terminal, one of Brazil's major logistical complexes, operate under extreme marine aggressiveness, demanding rigorous strategies to ensure their integrity. Aiming for operational continuity and asset preservation, a Long-Term Maintenance Master Plan was implemented for the strategic management of reinforced and prestressed concrete assets, focusing on Access Bridge 1, the Piers, and the TMUT. The article discusses the Master Plan's development based on inspections and testing for structural characterization and degradation diagnosis, substantiating mathematical service-life prediction models updated through a second investigation campaign. The life-cycle-oriented approach enabled the establishment of preventive and corrective guidelines, projecting schedules, methods, and costs over a 25-year horizon, consolidating itself as an essential tool for port infrastructure sustainability.
Keywords: inspection; maintenance; port.

1. INTRODUÇÃO

Estruturas portuárias *offshore* representam um dos cenários de maior desafio para a Patologia das Construções e para a gestão de ativos, dada a exposição contínua a névoa salina, ciclos de molhagem e secagem e a ação dinâmica de ondas. No complexo do Porto do Pecém, um dos 10 maiores portos do Brasil em total de movimentação de contêineres (bruto e líquido) (Brasil, 2024), este cenário de agressividade ambiental se torna mais importante devido à relevância estratégica dos ativos, que operam desde 2018 sob uma *joint venture* com o Porto de Roterdã. A Figura 1 ilustra as estruturas abordadas do Porto de Pecém.

Figura 1 – Vista aérea da Ponte de Acesso 1, dos Píeres 1 e do 2 e do TMUT do Porto de Pecém



Fonte: Google Earth (2026).

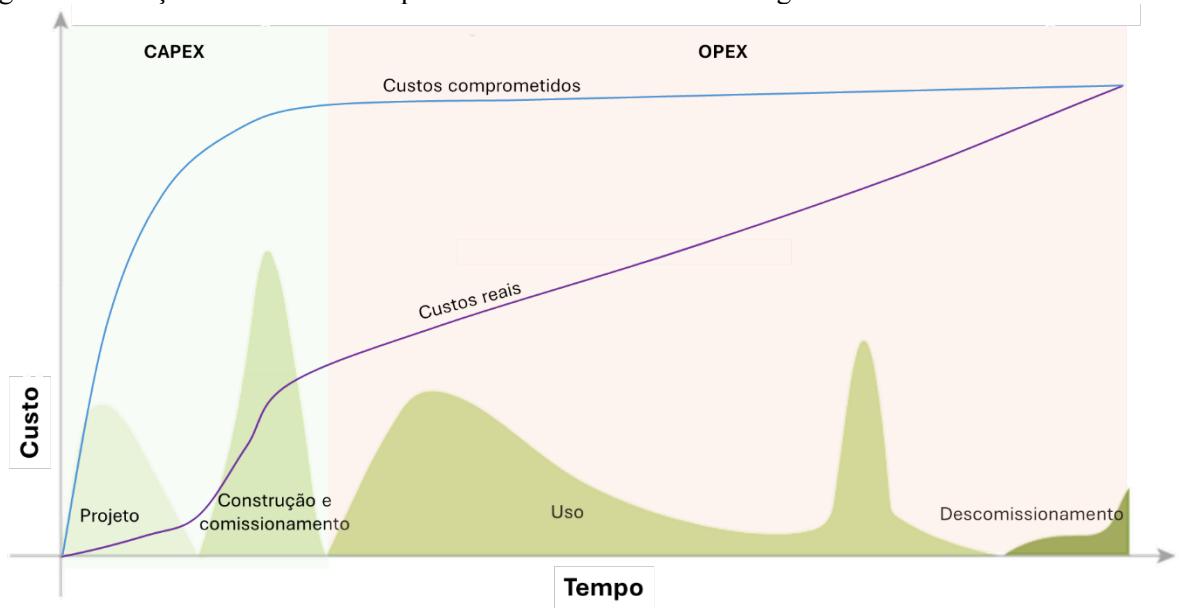
Para garantir a durabilidade das estruturas e a continuidade operacional, implementou-se um rigoroso protocolo de avaliação de integridade e manutenção, antecipando-se, inclusive, a diretrizes de durabilidade e periodicidade estabelecidas posteriormente pela ABNT NBR 19782 (2024).

Diferente das abordagens de manutenção puramente reativas, a estratégia adotada fundamentou-se em um Plano Diretor de Manutenção de Longo Prazo (2018-2043). Este plano utilizou a análise estatística probabilística para a previsão de vida útil residual e a retroalimentação das análises com dados de reinspeção, permitindo o planejamento das intervenções com base no monitoramento do quadro patológico e em modelos de degradação realistas. O presente artigo objetiva apresentar a metodologia de elaboração do Plano Diretor de Manutenção, discutindo as ferramentas de investigação de campo, como inspeção e ensaios laboratoriais avançados até a modelagem computacional, e os resultados obtidos após o primeiro ciclo de cinco anos de execução, que permitiu o ajuste fino das estratégias de recuperação e proteção das estruturas de concreto armado e protendido.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E ECONÔMICA

A gestão de infraestruturas portuárias deve ser compreendida sob a ótica do Ciclo de Vida (Life Cycle Cost - LCC). Segundo dados do *Pacific Region Infrastructure Facility* (PRIF, 2021), o custo de projeto e construção representa apenas cerca de 20% do custo total de propriedade ao longo da vida útil de um ativo: Os 80% restantes são determinados pelas decisões de Operação e Manutenção (O&M), como ilustra a Figura 2.

Figura 2 – Relação entre custos comprometidos e custos reais ao longo do Ciclo de Vida de infraestrutura



Fonte: Adaptado de Organização das Nações Unidas (ONU, 2021).

Neste contexto, a manutenção não deve ser encarada como um custo variável, mas como um investimento para preservar o capital investido. O relatório do PRIF destaca indicadores fundamentais que foram observados na estruturação do Plano Diretor de Pecém:

- *Replacement Asset Value* (RAV): Define que o gasto anual ideal com manutenção deve situar-se em determinada porcentagem do valor de reposição do ativo – estimado em 2 a 5% pelo documento–, evitando grandes variações de fluxo de caixa;
- Política de priorização: Políticas de manutenção que focam apenas em recuperar os ativos em pior estado (*fix-worst-fix*) tendem a ser mais onerosas e ineficientes. Ao concentrar recursos apenas na reabilitação de elementos severamente danificados, negligencia-se a manutenção preventiva de elementos em estado regular, acelerando sua degradação. O Plano Diretor do Pecém rompe com essa lógica ao priorizar intervenções preventivas em conjunto com as ações intervenções corretivas mais críticas;
- Heterogeneidade das estruturas: Diferente de ativos isolados, uma rede de infraestrutura portuária possui “múltiplas idades". Elementos construídos em 1998 convivem com ampliações de 2011 e 2023, exigindo uma estratégia de renovação que considere a longevidade individual de componentes, como estacas, defensas e vigas, dentro do sistema total.

3. CARACTERIZAÇÃO DAS ESTRUTURAS E HISTÓRICO

Para a compreensão do estado de conservação, foi realizado um levantamento retrospectivo do histórico das estruturas Ponte de Acesso 1, Píer 1, Píer 2 e TMUT (Terminal de Múltiplos Usos), abrangendo desde os projetos originais de 1998 até registros técnicos e tecnológicos de execução e os relatórios e registros de manutenção ao longo dos anos.

A concepção original das estruturas antecipou requisitos de durabilidade que só se tornariam exigências normativas anos depois, evidenciada pelo uso de Concreto de Alto Desempenho (CAD) com adição de sílica ativa e $f_{ck} \geq 50$ MPa. A Figura 3 ilustra o processo de execução das estruturas, parte pré-moldadas e parte moldadas *in loco*.

Figura 3 – Ponte de Acesso I durante sua execução



Fonte: Rodrigues, Sousa (2007).

A Ponte de Acesso possibilita o acesso ao Píer 1, ao Píer 2, ao TMUT e ao quebra-mar. A Ponte de Acesso 1 foi construída em duas fases. A 1ª fase, realizada entre os anos de 1997 e 1999, se estende entre os eixos 1 e 108, com vãos de 20,0 m entre os eixos 2 e 74 e de 10,0 m a partir desse trecho. A 2ª fase, construída entre 2009 e 2011, com 34 eixos espaçados em 10,3 m. A Ponte de Acesso 1 possui aproximadamente 2.440 m.

O Píer 1, destinado à movimentação de minério de ferro e carvão, possui dois berços de atracação com 32 defensas. A estrutura possui 362 m de comprimento e 45 m de largura, dividido em 61 eixos transversais e 11 eixos longitudinais. O Píer 2, composto por um trecho destinado a movimentação de granéis líquidos e um trecho denominado Píer de Rebocadores, também possui dois berços de atracação. A estrutura se estende por 413 m de comprimento e 45 m de largura, dividido em 45 eixos transversais e 4 eixos longitudinais.

O TMUT, estrutura com 1.600 m de comprimento e 107 m de largura, é composto por 6 berços dispostos sequencialmente no sentido longitudinal da zona abrigada. Atualmente, é destinado ao movimento de diversos tipos de carga, como contêineres, granéis sólidos minerais e carga geral solta, incluindo produtos siderúrgicos. As Figuras 4 a 6 ilustram as estruturas citadas.

Figura 4 – Vistas parciais da Ponte de Acesso 1



Fonte: os autores.

Figura 5 – Vistas parciais do Píer 1



Figura 6 – Vista parcial e realização de ensaio no TMUT



Fonte: os autores.

4. METODOLOGIA E DIAGNÓSTICO

O correto diagnóstico do quadro patológico apresentado pelas estruturas é a base de todo o trabalho desenvolvido, norteando as ações apresentadas no Plano Diretor. Dessa forma, a campanha de investigação inicial seguiu diretrizes internacionais consagradas, como as normas e boletins ACI 228.2R (2013), ACI 224.1R (2007), ISO 16311-2 (2014) e o boletim FIB 34 (2006), consistindo em:

- **Inspeção Detalhada**
  - Mapeamento sistemático de anomalias em zonas emersas e submersas do Píer I, da Ponte de Acesso I e do Terminal de Múltiplos Usos (TMUT). Permitiu o registro e conhecimento de todos os pontos de danos nas estruturas, fundamentando análises e previsões orçamentárias.

- **Exame Petrográfico com Técnicas de Microscopia e EDS**
  - Investigação de reações deletérias internas, como a Reação Álcali-Agregado (RAA) e a formação de etringita tardia (DEF), monitoradas em função do elevado consumo de cimento e das tensões térmicas inerentes a elementos de grande porte em climas tropicais. Possibilitou também a visualização de cloretos e de Sal de Friedel nas camadas mais superficiais.

- **Ensaios Eletroquímicos, Químicos e Físicos**
  - Determinação de cobrimento, potencial elétrico de corrosão das armaduras, profundidade de carbonatação e resistência à compressão do concreto. Expôs o cobrimento majoritariamente adequado, a baixa espessura carbonatada e a alta resistência do concreto, superando 100 MPa em alguns elementos;
  - Perfis de cloretos e sulfatos solúveis e totais. Permitiram diagnosticar a corrosão por cloretos como o mecanismo de degradação preponderante, avaliar a profundidade de penetração e diferenciar os cloretos disponíveis para corrosão (solúveis) e quimicamente combinados, mas que podem ser desestabilizados pela alteração de pH provocada pela carbonatação do concreto.
  - Avaliação dos mecanismos de transporte iônico (ASTM C1202) após ensaios de determinação do volume de vazios permeáveis (ASTM C642), coeficiente de difusão, secagem (ASTM C1792) e migração iônica. Embasaram a modelagem de durabilidade realizada no *software* STADIUM.

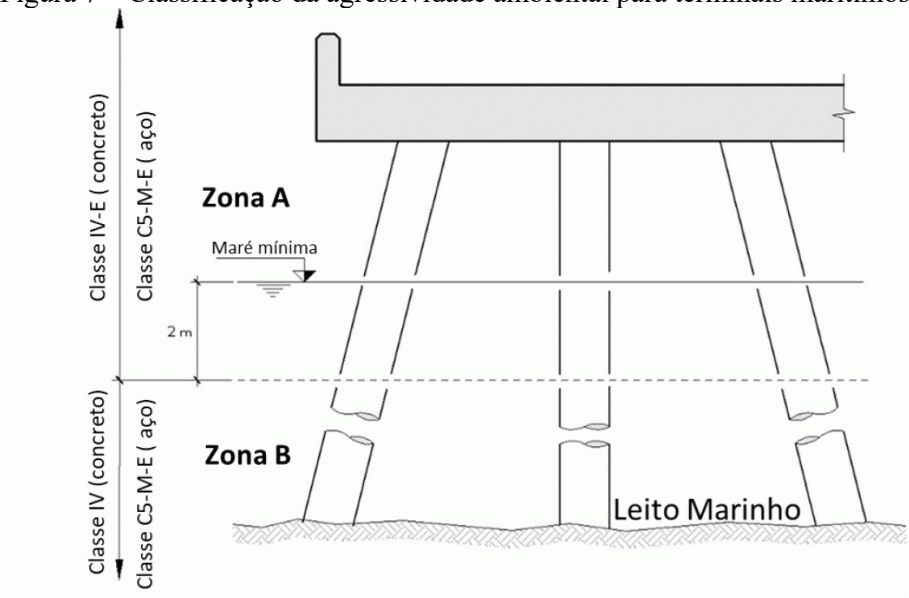
As investigações realizadas confirmaram que o Concreto de Alto Desempenho utilizado em 1998, com sílica ativa, alto f_{ck} e controle tecnológico rigoroso, continua sendo a principal barreira física contra a degradação. A baixa taxa de carbonatação e a lenta migração de cloretos validam as decisões de projeto da época, reforçando que o investimento inicial em materiais de qualidade reduz drasticamente o custo do ciclo de vida.

A adição de sílica ativa atua através de dois mecanismos principais: o efeito físico (*filler*), preenchendo os vazios entre as partículas de cimento, e o efeito químico (reação pozolânica), reagindo com o hidróxido de cálcio para formar silicato de cálcio hidratado (C-S-H) adicional. Este processo resulta em uma zona de transição pasta-agregado muito mais densa, reduzindo drasticamente a permeabilidade e o coeficiente de difusão de íons cloreto (Mehta; Monteiro, 2014).

Dada a agressividade da região de arrebentação (zona de *spray*) – na proximidade da praia e fora da cobertura do quebra-mar–, onde o aporte de cloretos é contínuo, a barreira física formada pelo concreto de alta resistência com adição mineral permitiu que elementos com mais de 20 anos de exposição ainda apresentassem frentes de contaminação superficiais, preservando a passivação das armaduras.

A norma ABNT NBR 19782 (2024), que se tornou vigente após a execução das duas campanhas de inspeção, determina que a VUP (Vida Útil de Projeto) mínima para terminais portuários deve ser considerada como 50 anos, não implicando na inexistência de danos de pequena monta decorrentes dos mecanismos de degradação naturais. A norma aborda o conceito de divisão da Classe de Agressividade Ambiental IV em uma região convencional e uma região especial (IV-E) (Figura 7), que requer a adoção de medidas especiais, como inibidores de corrosão incorporados ao concreto, ânodos de sacrifício, pinturas ou revestimentos, para o alcance de sua VUP. Tais ações são expostas ainda como essenciais para a obtenção de VUPs superiores a 50 anos, sendo indicado o cálculo da VUR (vida útil residual) de estruturas existentes com base em coeficientes de deterioração relacionados aos mecanismos de degradação atuantes.

Figura 7 – Classificação da agressividade ambiental para terminais marítimos



Fonte: ABNT NBR 19782 (2024).

A norma ABNT NBR 19782 determina também a elaboração de Manuais de Uso, Operação e Manutenção para as estruturas de terminais marítimos, guiando a implantação do sistema de gestão da manutenção, como o Plano Diretor desenvolvido.

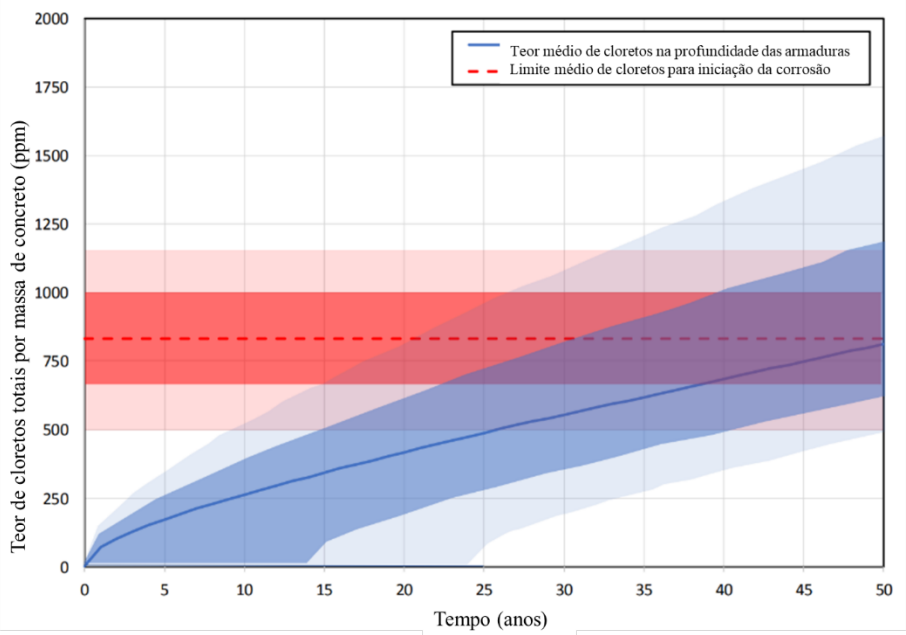
5. MODELAGEM PREDITIVA E PLANEJAMENTO

A fundamentação técnica para o Plano Diretor de Manutenção baseou-se no Boletim FIB 34, constituindo um modelo probabilístico desenvolvido no *software* STADIUM.

O Estado Limite de Serviço (ELS) foi definido como o momento da despassivação da armadura por cloretos. O modelo considera que a vida útil é atingida quando a concentração de cloretos na profundidade do cobrimento iguala o limiar crítico de iniciação da corrosão. A determinação das

ações de manutenção baseou-se no risco de iniciação da corrosão, definido matematicamente quando a probabilidade de falha atinge 10% (β = 1,3). As simulações consideraram a variabilidade estatística dos parâmetros de entrada (cobrimento, porosidade e difusividade). A adoção do índice de confiabilidade permitiu identificar que, embora a maioria das estruturas apresentasse excelente desempenho, elementos específicos na zona de arrebentação atingiriam o limiar de 10% de probabilidade de corrosão em janelas temporais distintas. Utilizando o *software* STADIUM, as estruturas foram inicialmente classificadas em um sistema de "bandeiras" (verde, amarela e vermelha), correlacionando o quadro patológico encontrado com a probabilidade de degradação ao longo de 25 anos para definir as prioridades para ações corretivas e preventivas.

Figura 7 – Exemplo de gráfico obtido durante análise probabilística de durabilidade



Fonte: SIMCO Technologies (2018).

A análise de ciclo de vida permitiu a estruturação de fluxos de caixa e a elaboração de especificações técnicas de alto desempenho, incluindo o uso pioneiro no Brasil de jaquetas de proteção catódica para o encamisamento de estacas protendidas.

A estruturação do Plano Diretor de Manutenção (2018-2043) foi concebida para estabelecer um modelo de gestão de ativos baseado em desempenho. O plano foi segmentado para a Ponte de Acesso 1, o TMUT, o Píer 1 e, posteriormente em 2023, o Píer 2. Dentro dessa divisão, os elementos estruturais foram classificados em lotes de acordo com seu quadro patológico e localização. Para a compreensão da necessidade de divisão das ações em lotes, é importante expor a magnitude das estruturas, sendo que a Ponte de Acesso I possui quase 2,5 km de extensão e há 1451 estacas de concreto protendido, além das estacas com outras concepções, e a necessidade de minimizar as interferências com a operação portuária.

As intervenções a serem realizadas foram registradas em planilhas e desenhos, fornecendo clareza na identificação das ações necessárias em cada período.

6. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO E PROTEÇÃO

As especificações técnicas de recuperação e proteção, baseadas nas normas europeias EN 1504 e das recomendações do ACI, foram formuladas tendo em mente as particularidades de cada estrutura e o rigor técnico. Ações bem-sucedidas nas primeiras campanhas de manutenção foram incorporadas, assim como o esclarecimento de pontos que geraram dúvidas.

Dado que o sucesso de qualquer intervenção executada em uma estrutura pode ser comprometido pela limpeza inadequada e que a aderência dos materiais é crítica em uma recuperação, foi especificado o uso de hidrojateamento de alta e ultra alta-pressão, técnica que permite a remoção de concreto e a abertura de porosidade sem microfissuração do material. Em algumas áreas, foram utilizadas ainda microesferas de vidro junto à água, como abrasivo.

Foram especificados graute e concreto projetado, assim como opções de argamassa tixotrópica, compatíveis com as estruturas e com a agressividade ambiental, trabalhando com $f_{ck} \geq 50$ MPa e resistência de aderência a partir de 1,5 MPa. As especificações determinam o uso de inibidores de corrosão, detalhando os tipos adequados em função de sua eficiência e segurança quando a aspectos ambientais e de saúde do trabalhador. Destaca-se que a norma ABNT NBR 19782 prevê o acréscimo de 15 anos à vida útil de elementos de concreto armado na zona emersa de estruturas portuárias através do uso de inibidores incorporados ao material (ABNT, 2024).

As jaquetas de proteção catódica implantadas em estacas de concreto protendido centrifugadas (Figura 8) incorporam anodos de sacrifício de zinco dimensionados para no mínimo 25 anos, polarizando a armadura e controlando o avanço do processo corrosivo, mesmo em ambientes saturados de cloretos. Trata-se de uma solução alinhada à ABNT NBR 19782 (2024), mais eficiente e complexa do que o uso de sistemas de proteção superficial, que se limitam a impedir a entrada de agentes agressivos através das regiões afetadas – desacelerando, mas não interrompendo processos já instaurados – e não podem ser aplicados na face interna das estacas.

A instalação das jaquetas de proteção catódica é uma inovação no Brasil, tendo sido necessária a importação dos materiais. O procedimento passa pela limpeza das estacas com hidrojateamento de alta pressão, pela fixação de ânodos maciços de zinco de 48 lb para proteção da parte submersa e 4 ânodos de zinco de 71 mm x 9 mm x 5000 mm, com 2,83 kg de zinco por metro linear, envoltos em tecido absorvente, para proteção da zona de variação de maré e a região sujeita a respingos. É realizada a conexão elétrica entre ânodos e armaduras, assim como entre o sistema e as caixas de inspeção, antes da fixação de armaduras para a jaqueta, disposição de formas perdidas à base de fibra de vidro e grauteamento. Cabe destacar que a função das jaquetas é proteger os ânodos, sem interferir no comportamento estrutural dos elementos.

A adição das armaduras às jaquetas de proteção catódica derivou de aprimoramentos realizados ao longo das campanhas de execução, utilizando-se telas de fibra de vidro (GFRP – Polímero Reforçado com Fibra de Vidro) álcali resistentes, utilizando-se resina de poliéster como matriz. As armaduras, também utilizadas em outras intervenções no porto, são leves, possuem alta resistência à tração e são imunes à corrosão.

Figura 8 – Vista da limpeza das estacas (a), tela de fibra de vidro (b), posicionamento da camisa de fibra de vidro (c) e recuperação da superestrutura (d)



Fonte: os autores.

Foram especificados diferentes sistemas de proteção para as estruturas emersas, dependendo da agressividade da microrregião a que cada elemento está exposto e ao seu quadro patológico, considerando-se ainda o custo de cada sistema, sua disponibilidade no mercado e a vida útil agregada à estrutura foram considerados. As opções variaram entre um sistema à base de poliuretano permeável ao vapor – condição fundamental –, hidrofugante à base de silano com alta concentração e cristalizante cimentício, este com a vantagem de colmatar fissuras de retração de pequena abertura. A proteção das estruturas é essencial não apenas para desacelerar ou impedir o avanço da corrosão por cloretos, principal mecanismo de degradação atuante, mas também para impedir o aumento da frente de carbonatação e mitigar o avanço de reações expansivas, atualmente pouco significativas.

Cabe destacar ainda os desafios logísticos superados ao se executar ações de manutenção corretiva e preventiva em uma Ponte de Acesso de quase 2,5 km mantendo-se o fluxo de caminhões e granéis, superados pelo planejamento detalhada e pelo uso de andaimes suspensos sob as estruturas.

7. ANÁLISE DO CICLO DE REINSPEÇÃO

A eficácia das intervenções foi reavaliada após 5 anos, permitindo que a retroalimentação do Plano Diretor com coeficientes de correção entre a área de reparo prevista e a efetivamente executada, garantindo maior acurácia orçamentária e técnica. Não só a probabilidade de corrosão foi avaliada, mas também a progressão da área afetada ao longo do período, que impacta diretamente o custo de recuperação e é habitualmente representada por um coeficiente γ aplicado nas dimensões das anomalias entre 1,1 e 2,0. Destaca-se ainda que a ABNT NBR 19782 (2024) sustenta a necessidade de revisão dos Manuais de Uso, Operação e Manutenção após obras de recuperação e proteção, como realizado.

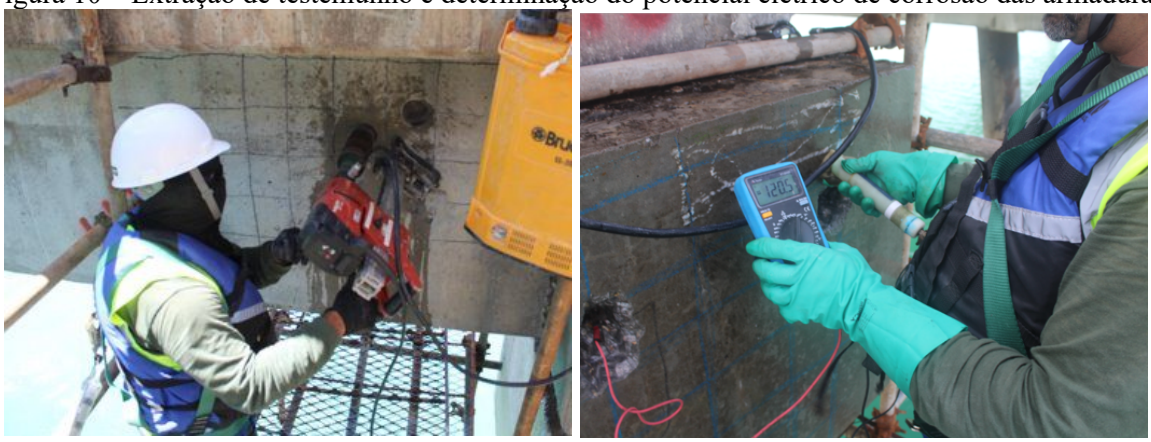
A periodicidade entre as campanhas de inspeção se apresenta alinhada às determinações da norma ABNT NBR 19782 (2024) para estruturas classificadas como condição 5 – Satisfatória ou 6- Boa, em que os danos são ausentes ou "limitados, de magnitude pequena a moderada, sem manifestações características de danos estruturais". Além da inspeção visual, realizou-se determinação de espessura de cobrimento das armaduras, do potencial elétrico de corrosão das armaduras, dos teores de cloretos e sulfatos totais em relação à massa de cimento, da perda de seção transversal da armadura, da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas, da resistência à compressão axial e da ocorrência de reações expansivas, além de auscultação por percussão (Figura 9 e Figura 10).

Figura 9 – Auscultação por percussão e determinação da espessura de cobrimento das armaduras



Fonte: os autores.

Figura 10 – Extração de testemunho e determinação do potencial elétrico de corrosão das armaduras



Fonte: os autores.

A distribuição dos ensaios foi a partir do histórico, proporcionando tanto a compressão do avanço dos mecanismos de degradação quanto o aprofundamento do conhecimento sobre as estruturas, o que possibilitou a detecção de eixos e microrregiões mais sujeitas à degradação e, portanto, prioritários. Cabe expor que o Plano Diretor define não apenas prioridades, mas também prazos e custos estimados.

8. CONCLUSÃO

O presente artigo detalhou a estruturação e a execução do Plano Diretor de Manutenção do Porto de Pecém. A metodologia adotada, fundamentada na integração entre campanhas de inspeção visual e ensaios em campo e laboratório, modelagem probabilística de durabilidade e retroalimentação estatística, mostrou-se eficaz ao converter diagnósticos complexos em decisões técnicas objetivas, permitindo o ajuste fino das estratégias de intervenção ao longo do primeiro ciclo de cinco anos.

A experiência de gestão de ativos no Porto do Pecém demonstra que a durabilidade de suas estruturas portuárias é fruto de uma estratégia contínua que une materiais de alto desempenho e planejamento na manutenção. A concepção original das estruturas, com o uso de Concreto de Alto Desempenho e sílica ativa, provou ser uma barreira robusta que permitiu aos ativos suportar mais de duas décadas de severa agressividade ambiental com custos controlados.

A longevidade operacional é assegurada pela gestão de manutenção preditiva consolidada no Plano Diretor de Manutenção (2018-2043) e alinhada às diretrizes da ABNT NBR 19782. O sucesso das intervenções, evidenciado pelo ajuste estatístico do modelo, valida que a priorização técnica e o uso de tecnologias de proteção, como inibidores de corrosão e sistemas catódicos, representam um investimento direto na extensão da vida útil e na otimização do custo do ciclo de vida.

Em última análise, através do modelo adotado no Pecém, a manutenção deixa de ser uma resposta reativa a danos para se consolidar como um ativo estratégico. Ao integrar ensaios avançados, modelagem computacional e uma gestão de reinspeção vinculada ao quadro patológico real, o Porto de Pecém não apenas preserva seu capital investido, mas garante a continuidade operacional necessária para cumprir seu papel central na infraestrutura brasileira.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à equipe do Porto de Pecém pela autorização para divulgação dos dados e por toda a parceria desenvolvida ao longo dos anos.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). **ACI 224.1R-07**: Causes, Evaluation, and Repair of Cracks in Concrete Structures. Farmington Hills, MI: ACI, 2007.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). **ACI 228.2R-13**: Report on Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures. Farmington Hills: ACI, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 19782**: Investigação de estruturas de concreto — Inspeção e ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

BRASIL. Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ). **Estatístico Aquaviário**. Brasília, DF: ANTAQ, 2024. Disponível em: https://web3.antaq.gov.br/ea/sense/Relatorio.html#pt. Acesso em: 27 fev. 2026.

FEDERATION INTERNATIONALE DU BETON (FIB). **FIB Bulletin 34**: Model Code for Service Life Design. Lausanne: FIB, 2006.

GOOGLE. **Google Earth**. Imagem de satélite da região de Pecém, Ceará. Lat: 3°32'08"S Long: 38°48'41"W. Disponível em: https://earth.google.com/web/search/pecem/@-3.53577366,-38.81156874,-0.7579136a,4697.60468754d,35y,-39.89289365h,1.14034538t,0r/. Acesso em: 27 fev. 2026.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 16311-2:2014**: Maintenance and repair of concrete structures — Part 2: Assessment of existing concrete structures. Geneva: ISO, 2014.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: Microestrutura, propriedades e materiais. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Managing infrastructure assets for sustainable development**: a handbook for local and national governments. New York: United Nations, 2021.

PACIFIC REGION INFRASTRUCTURE FACILITY (PRIF). **Pacific Infrastructure Maintenance Benchmarking Report**: 2021 baseline assessment. Sydney: PRIF, 2021.

RJ LEE GROUP. **Final Petrographic Report**: Port of Pecem Petrographic Examination, SIMCO17128. Project Number TCH801348. Monroeville, PA: RJ Lee Group, 2018.

RODRIGUES, Maria do Socorro Costa; SOUSA FILHO, Luciano Moreira de. **Pecém**: uma trajetória portuária. Fortaleza: Sebrae/CE, 2007.

SIMCO Technologies. **Memo.** Service-life evaluation – methodology. Quebec, Canada. 2018