



CENTRO DE ESTUDOS SUPERIORES DE ITAITUBA S/C LTDA
FACULDADE DE ITAITUBA – FAI
CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

JOENNY TAMÍRES PEREIRA DAMASCENO
STEPHANY RODRIGUES MARQUES

**ANÁLISE PATOLÓGICA E PROPOSTA DE RECUPERAÇÃO
ESTRUTURAL DO TERMINAL HIDROVIÁRIO MUNICIPAL DE
ITAITUBA/PA - DR. ALMIR GABRIEL**

JOENNY TAMÍRES PEREIRA DAMASCENO

STEPHANY RODRIGUES MARQUES

**ANÁLISE PATOLÓGICA E PROPOSTA DE RECUPERAÇÃO
ESTRUTURAL DO TERMINAL HIDROVIÁRIO MUNICIPAL DE
ITAITUBA/PA - DR. ALMIR GABRIEL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Itaituba para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Esp. Wesley Aguiar Pinto.

Itaituba – PA

2026

DAMASCENO, Joenny Tamíres Pereira; MARQUES, Stephany Rodrigues

ANÁLISE PATOLÓGICA E PROPOSTA DE RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL
DO TERMINAL HIDROVIÁRIO MUNICIPAL DE ITAITUBA/PA - DR. ALMIR
GABRIEL.

86 f.

Orientador: Prof. Esp. Wesley Aguiar Pinto

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) da Faculdade de Itaituba – FAI, Curso
Bacharelado em Engenharia Civil, Itaituba, BR – PA, 2026

1. Patologias. 2. Análise. 3. Reconstrução I. PINTO, Wesley Aguiar II.
Faculdade de Itaituba. Itaituba, BR – PA, 2026.

JOENNY TAMÍRES PEREIRA DAMASCENO

STEPHANY RODRIGUES MARQUES

**ANÁLISE PATOLÓGICA E PROPOSTA DE RECUPERAÇÃO
ESTRUTURAL DO TERMINAL HIDROVIÁRIO MUNICIPAL DE
ITAITUBA/PA - DR. ALMIR GABRIEL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Itaituba para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Esp. Wesley Aguiar Pinto.

BANCA EXAMINADORA

Presidente: _____ Nota: _____

Prof. Wesley Aguiar Pinto, especialista.

Avaliador(a): _____ Nota: _____

Prof. _____, _____

Avaliador(a): _____ Nota: _____

Prof. _____, _____

Resultado: _____ Média: _____

Itaituba/PA, ____ de abril de 2026.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram e acreditaram em nosso potencial para a realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela fé que nos deu a certeza de que era possível continuar mesmo nos momentos mais difíceis de nossa jornada acadêmica.

Agradecemos ao nosso orientador Prof. Esp. Wesley Aguiar Pinto por sua disponibilidade e paciência ao longo do processo e por aceitar a formalização de nossa orientação acadêmica.

E, de maneira especial, imensurável e com o mais profundo respeito, agradecemos ao nosso mentor, Eng. M.Sc. Andrews Malone Pontes da Costa, por acreditar em nosso potencial e nos guiar com sabedoria, mesmo após sua saída da instituição.

Para nós, foi mais que um professor e coorientador, foi como um pai na engenharia, que nos acolheu e nos ensinou a transformar incertezas em soluções. Mesmo à distância, por meio do google meet, suas orientações sempre apontavam os meios para que resolvêssemos os problemas, além de nos dá suporte nos momentos de extrema ansiedade. O senhor se tornou nosso maior exemplo como profissional. Gratidão, Mestre!

De forma individual, expressamos nossa profunda gratidão às nossas famílias: Aos pais Joelson Lopes Damasceno e Clemilda Pereira, e às irmãs, pelo apoio, incentivo e presença constante ao longo de toda a trajetória acadêmica. Aos pais Washington Ricarlos Pereira Marques e Francineide Rodrigues Lima, e aos irmãos, por todo apoio e confiança.

RESUMO

O Terminal Hidroviário Dr. Almir Gabriel, localizado no município de Itaituba, Pará, é uma infraestrutura de grande importância para a integração e o transporte de passageiros e cargas na região do Rio Tapajós. No entanto, a estrutura apresenta um quadro de deterioração que impõe riscos à segurança dos usuários e compromete sua funcionalidade. Logo, esta pesquisa tem como objetivo realizar uma análise técnica detalhada das patologias estruturais e funcionais do terminal e, a partir deste diagnóstico, hierarquizar as manifestações patológicas presentes e propor um plano para sua recuperação. A metodologia adotada inclui a revisão bibliográfica e inspeções em campo para a identificação de anomalias. Foi realizada a modelagem completa pelo software Sketchup com base no levantamento realizado in loco com medidas precisas de uma trena laser, uma planta piloto realizada no software AutoCAD e imagens renderizadas pelo lumion. Principais anomalias encontradas foram: corrosão exposta de armadura, cobrimento insuficiente, erosão hidráulica e carbonatação. Os dados foram obtidos a partir da utilização do cálculo de perda de seção (%) que demonstraram a partir dos cálculos uma perda de seção que superou 10%, classificando todos os pilares, vigas e lajes necessitando de recuperação complexa. A partir disso, foi possível observar que intervenções localizadas não serão suficientes. Com isso conclui-se que as causas desses problemas incluem exposição contínua ao rio Tapajós, falta de manutenção periódica e preventiva.

Palavras-chave: Análise Técnica. Patologia Estrutural. Terminal Hidroviário; Recuperação de Estrutura. Itaituba/PA.

ABSTRACT

The Dr. Almir Gabriel Waterway Terminal, located in the municipality of Itaituba, Pará, is an infrastructure of great importance for the integration and transport of passengers and cargo in the Tapajós River region. However, the structure shows a state of deterioration that poses risks to user safety and compromises its functionality. Therefore, this research aims to perform a detailed technical analysis of the terminal's structural and functional pathologies and based on this diagnosis, prioritize the existing pathological manifestations and propose a recovery plan. The methodology includes a literature review and on-site inspections to identify anomalies. A complete 3D modeling was performed using SketchUp software, based on an in-situ survey with precise laser distance measurements, a pilot floor plan developed in AutoCAD, and high-quality renders generated by Lumion. The primary anomalies identified were: exposed reinforcement corrosion, insufficient concrete cover, hydraulic erosion, and carbonation. Data regarding section loss (%) indicated values exceeding 10%, classifying all columns, beams, and slabs as requiring complex structural recovery. Consequently, it was observed that localized interventions will not be sufficient. The study concludes that the root causes of these issues include continuous exposure to the Tapajós River environment, alongside a lack of periodic and preventive maintenance.

Keywords: Technical Analysis. Structural Pathology. Waterway Terminal. Structural Recovery. Itaituba/PA.

LISTA DE IMAGENS

Imagem 1 – Ensaio de abatimento de tronco de cone (Slump Test)	17
Imagem 2 – Exsudação em piso de concreto	18
Imagem 3 – Concreto em seu estado endurecido	19
Imagem 4 – Adição de água na massa de concreto	24
Imagem 5 – Armadura para concreto	28
Imagem 6 – Viga de concreto Armado	30
Imagem 7 – Vistoria de bombeiro no terminal hidroviário municipal	33
Imagem 8 – Condições que o terminal apresentava antes da reforma entre os anos de 2012 e 2014.	33
Imagem 9 – Plataforma de embarque após a conclusão da reforma e ampliação	34
Imagem 11 – Representação esquemática de vários tipos de fissuras	37
Imagem 12 – Processo de lixiviação em viga de concreto armado	39
Imagem 13 – Processo de carbonatação no concreto	40
Imagem 14 – Tipos de corrosão e os fatores que as provocam	41
Imagem 15 – Desagregação do concreto de um pilar	42
Imagem 16 – Apicoamento	47
Imagem 17 – Visão superior do Terminal Hidroviário de Itaituba/PA	52
Imagem 18 – Delaminação de concreto em pilar (P-01)	54
Imagem 19 – Desplacamento de material em pilar (P-02)	55
Imagem 20 – Delaminação no encontro direto Viga - pilar (P-03)	56
Imagem 21 – Sinais de corrosão e exposição de armadura em viga (P-04)	57
Imagem 22 – Rachadura em face exterior entre viga e pilar (P-05)	58
Imagem 23 – Desvio visível em pilares em relação ao eixo vertical (P-06)	60
Imagem 24 – Patologia submersa entre laje e pilar (P-07)	61
Imagem 25 – Desagregação de pilar (P-08)	62
Imagem 26 – Patologia localizada na área de acesso para passageiros (P-09)	63
Imagem 27 – Desplacamento do concreto de pilar (P-10)	64
Imagem 28 – Patologia localizada em viga da laje do trapiche (P-11)	65
Imagem 29 – Patologia localizada em pilar (P-12)	66
Imagem 30 – Patologia localizada em pilar (P-13)	67
Imagem 31 – Patologia localizada em pilar (P-14)	68
Imagem 32 – Patologia localizada em laje e vigas (P-15)	69

Imagem 33 – Patologia localizada em viga (P-16)	70
---	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Designação normalizada, siglas e classes de resistência dos diferentes tipos de cimento Portland.....	21
Quadro 2 – Limites de composição do cimento Portland	22
Quadro 3 – Designação normalizada, siglas e classes de resistência dos diferentes tipos de cimento Portland.....	23
Quadro 4 – Classificação do aço para armadura passiva	29
Quadro 5 – Valor do coeficiente de aderência n_1	30
Quadro 6 – Classificação de agressividade ambiental.....	31
Quadro 7 – Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm	32
Quadro 8 – Classificação das argamassas de reparo	49
Quadro 9 – Quadro de análise das patologias encontradas (P-01)	55
Quadro 10 – Quadro de análise das patologias encontradas (P-02).	56
Quadro 11 – Quadro de análise das patologias encontradas (P-03)	57
Quadro 12 – Quadro de análise das patologias encontradas (P-04).	58
Quadro 13 – Quadro de análise das patologias encontradas (P-05).	59
Quadro 14 – Quadro de análise das patologias encontradas (P-06).	60
Quadro 15 – Quadro de análise das patologias encontradas (P-07).	61
Quadro 16 – Quadro de análise das patologias encontradas (P-08).	62
Quadro 17 – Quadro de análise das patologias encontradas (P-09).	63
Quadro 18 – Quadro de análise das patologias encontradas (P-10).	64
Quadro 19 – Quadro de análise das patologias encontradas (P-11).	65
Quadro 20 – Quadro de análise das patologias encontradas (P-12).	66
Quadro 21 – Quadro de análise das patologias encontradas (P-13).	67
Quadro 22 – Quadro de análise das patologias encontradas (P-14).	68
Quadro 23 – Quadro de análise de patologias encontradas (P-15).	69
Quadro 24 – Quadro de análise de patologias encontradas (P-16).	70
Quadro 25 – Demonstração da Matriz de Gut	71
Quadro 26 – Hierarquização Final pelo Método GUT	72
Quadro 27 – Fórmula utilizada para calcular a perda de seção	73
Quadro 28 – Cálculo de Avaliação de Armadura Exposta dos Pilares A1	74
Quadro 29 – Cálculo de Avaliação de Armadura Exposta dos Pilares A2 a A4	74

Quadro 30 – Cálculo de Avaliação de Armadura Exposta dos Pilares A5	74
Quadro 31 – Cálculo de Avaliação de Armadura Exposta dos Pilares A6	74
Quadro 32 – Cálculo de Avaliação de Armadura Exposta Das Vigas A1	75
Quadro 33 – Cálculo de Avaliação de Armadura Exposta Das Vigas de Travamento de Pilares A1	75
Quadro 34 – Cálculo de Avaliação de Armadura Exposta Das Vigas A2 a A4	75
Quadro 35 – Cálculo de Avaliação de Armadura Exposta Das Vigas de Travamento de Pilares A2 a A4.....	76
Quadro 36 – Cálculo de Avaliação de Armadura Exposta Das Vigas A5	76
Quadro 37 – Cálculo de Avaliação de Armadura Exposta Das Vigas A6	76
Quadro 38 – Cálculo de Avaliação de Armadura Exposta Das Lajes	77

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Causa de origem das patologias nas fases de uma construção	36
--	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 CONCRETO E SUAS CARACTERÍSTICAS	15
2.1.1 Propriedades do Concreto no Estado Fresco	16
2.1.2 Propriedades do Concreto no Estado Endurecido	18
2.2 COMPONENTES DO CONCRETO	20
2.2.1 Cimento Portland	20
2.2.2 Agregados	22
2.2.3 Água de Amassamento	23
2.2.4 Aditivos e Adições Minerais	25
2.2.5 Durabilidade do Concreto	26
2.2.6 Concretos para Ambientes Agressivos	26
2.3 CONCRETO ARMADO	27
2.3.1 Armaduras no Concreto Armado	28
2.3.2 Proteção das Armaduras: Cobrimento e Classes de agressividade ambiental	30
2.4 TERMINAL HIDROVIÁRIO DR. ALMIR GABRIEL	32
2.4.1 Contexto Histórico	32
2.4.2 Rio Tapajós	34
2.5 ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS (ELU) E DE SERVIÇO (ELS)	35
2.6 PRINCIPAIS CAUSAS DAS PATOLOGIAS	36
2.7 TIPOS DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS COMUNS	37
2.7.1 Fissuras	37
2.7.1.1 Fissuras por excesso de cargas	38
2.7.1.2 Fissura por recalque	38
2.7.2 Lixiviação	39
2.7.3 Carbonatação	40
2.7.4 Corrosão das Armaduras	41
2.7.5 Desagregação	42
2.8 TÉCNICAS E MÉTODOS DE INVESTIGAÇÃO DE PATOLOGIAS	43
2.8.1 Inspeção Visual e Avaliação Sensorial In Loco	43
2.8.2 Ensaios Não Destrutivos (ultrassom, esclerometria, termografia)	43
2.8.3 Ensaios Destrutivos e Semi-destrutivos	44

2.8.4 Instrumentos para Análise Pericial	44
2.9 MÉTODO GUT PARA PRIORIZAÇÃO DE PATOLOGIAS	44
2.10 TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL	45
2.11 PROCESSOS DE RECUPERAÇÃO	46
2.11.1 Escoramento	46
2.11.2 Remoção do Concreto	46
2.11.3 Limpeza	47
2.11.4 Passivação do aço	48
2.11.5 Ponte de aderência	48
2.11.6 Recobrimento	48
2.11.7 Cura do concreto	50
2.11.8 Desenforma	50
3 METODOLOGIA	51
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	51
3.2 COLETA DE DADOS	52
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
4.1 INSPEÇÃO IN LOCO	54
4.2 MATRIZ DE GUT	71
4.3 PROPOSTA DE RECUPERAÇÃO	73
4.3.1 Cálculo dos Pilares	73
4.3.2 Cálculo das vigas	75
4.3.3 Cálculo das Lajes	77
4.4 ANÁLISE GERAL	77
REFERÊNCIAS	81
Anexo A	85

1 INTRODUÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado como “Análise Técnica e Estimativa de Cálculo para Recuperação do Terminal Hidroviário Municipal de Itaituba/PA - Dr. Almir Gabriel”. O estudo aborda o cenário comum de degradação em infraestruturas portuárias fluviais, na qual diversos problemas estruturais podem ocorrer, ocasionados por agentes físicos, químicos ou erros construtivos.

Em áreas portuárias, à natureza agressiva do ambiente propicia complicações estruturais. A exposição contínua ao intemperismo tropical, com ciclos de variação térmica, níveis de água oscilantes e umidade relativa elevada, somada a cargas operacionais intensas, se configura como um meio altamente hostil aos materiais. Tal exposição resulta em diversas manifestações patológicas, como: corrosão de armaduras, degradação do concreto e fissuras e compreender esses impactos é, fundamental para a segurança e funcionalidade da obra.

Logo, o objetivo geral é avaliar as manifestações patológicas do Terminal Hidroviário Municipal de Itaituba - Dr. Almir Gabriel. Para alcançar tal finalidade, estabelecem os seguintes objetivos específicos: analisar, por meio de inspeção *in loco*, as manifestações patológicas presentes; classificar as patologias estruturais identificadas, priorizando-as através do método GUT; diagnosticar as causas das patologias, considerando fatores ambientais, construtivos e de manutenção.

O presente trabalho justifica-se pela importância estratégica do Terminal Hidroviário Municipal de Itaituba – Dr. Almir Gabriel. Localizado na região oeste do Pará, na qual este terminal hidroviário, desempenha papel fundamental para o município de Itaituba, que não dispõe de um porto de grande porte. E dele depende para a movimentação crescente de cargas e passageiros. E garantir sua durabilidade estrutural exige análise sistemática, diagnóstico de patologias e avaliação de riscos associados.

Com isso, este estudo é orientado pelas seguintes questões norteadoras: Quais manifestações patológicas estão presentes no Terminal Hidroviário Municipal de Itaituba – Dr. Almir Gabriel e como classificá-las de forma a priorizar as intervenções necessárias? Quais são as causas dessas patologias, considerando os fatores ambientais, construtivos e de manutenção? Quais intervenções são necessárias para recuperar e restabelecer a funcionalidade da estrutura?

Para embasar esse estudo foram utilizados autores renomados em tecnologia do concreto, durabilidade estrutural e patologia de estruturas, como Allen e Iano (2013), Bauer (2025), Neville (2016), Helene e Andrade (2009), Mehta e Monteiro (2008), Chust e Figueiredo (2001), Sobral (2000), Souza e Ripper (1998), Petrucci (1998) e Edwards e Joseph (2013). Além disso, foram consideradas normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), como a NBR 6118 (2023), NBR 12655 (2015), NBR 16697 (2018), NBR 7211 (2022), NBR 7480 (2022), NBR 14931 (2004), NBR 15696 (2009).

Este Trabalho de Conclusão de Curso - TCC está estruturado em cinco capítulos. O capítulo 1 – Introdução, apresenta o tema, os objetivos, a justificativa e as questões norteadoras do estudo. O Capítulo 2 – Fundamentação Teórica – reúne os principais conceitos, definições e estudos relacionados aos materiais, às manifestações patológicas em estruturas portuárias, ao método GUT e aos procedimentos de inspeção. O Capítulo 3 – Metodologia, descreve os procedimentos adotados para a realização das inspeções, a coleta e a análise de dados. O Capítulo 4 apresenta e discute os resultados obtidos a partir da análise pericial por sensoramento, juntamente com a hierarquização a partir da metodologia GUT e a. E na sequência tem-se conclusão que apresenta as principais descobertas, recomendações de intervenção, limitações do estudo e sugestões para pesquisas futuras.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CONCRETO E SUAS CARACTERÍSTICAS

Segundo Allen e Iano (2013), o concreto é um material pétreo resultante do endurecimento da mistura de cimento Portland, água e agregados. O processo de endurecimento ocorre pela reação química chamada hidratação, que gera cristais que unem os agregados. Neville e Brooks (2013), ampliam esse conceito, definindo concreto como qualquer produto formado a partir de um meio cimentante, destacando a incorporação de materiais adicionais, como pozolanas, aditivos, fibras e polímeros, que aprimoram suas propriedades.

De acordo com Pedroso (2009), estima-se que, anualmente, sejam consumidos cerca de 11 bilhões de toneladas de concreto no mundo. Isso representa, segundo a Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado (FIHP), um consumo médio de aproximadamente 1,9 tonelada de concreto por habitante por ano, ficando atrás apenas para o consumo de água. No Brasil, a produção anual de concreto por meio de centrais dosadoras gira em torno de 30 milhões de metros cúbicos.

Esse volume de produção pode ser atribuído a diversas vantagens técnicas e econômicas do concreto como material construtivo. Mehta e Monteiro (2008), apontam três razões principais para a ampla utilização do concreto na construção civil:

- Sua excelente resistência à ação da água, diferentemente de materiais como madeira e aço;
- A facilidade de moldagem em diversos formatos e tamanhos, permitindo soluções arquitetônicas e estruturais variadas;
- O seu custo relativamente baixo e a ampla disponibilidade dos materiais constituintes em praticamente todas as regiões.

Essas características que tornam o concreto amplamente utilizado na construção civil estão diretamente relacionadas às suas propriedades físicas e mecânicas, analisadas em dois estados distintos: o estado fresco e o estado endurecido.

2.1.1 Propriedades do Concreto no Estado Fresco

Para Helene e Andrade (2010), o concreto apresenta duas fases distintas, sendo a primeira denominada concreto fresco, caracterizada por um período bastante curto (geralmente entre 1 e 5 horas) que corresponde ao intervalo necessário para que o concreto seja misturado, transportado, lançado e adensado. Nesse contexto, a trabalhabilidade surge como a propriedade que governa à eficiência e facilidade de realização dessas tarefas.

Essa relevância prática é detalhada por Sobral (2000), que define o concreto como trabalhável, quando suas características (consistência e dimensão máxima do agregado) são adequadas tanto às especificações da obra (dimensões das peças, afastamento e distribuição das barras das armaduras) e quanto aos métodos de lançamento, adensamento e acabamento adotados, além de não manifestar segregação ou exsudação, permitindo compactação adequada e completo envolvimento das armaduras.

Contudo, ao buscar uma definição técnica mais precisa, Neville e Brooks (2013, p. 78), conceituam a trabalhabilidade como a quantidade de trabalho interno útil necessário para conseguir adensar o concreto completamente. Esse trabalho interno útil é a energia necessária para vencer o atrito interno entre as partículas do concreto para que elas se acomodem bem umas com as outras.

Na prática, a medição da trabalhabilidade, conforme essa definição teórica se torna inviável. Isso ocorre porque energias adicionais são consumidas para vencer o atrito superficial do concreto com as fôrmas e armaduras, além das perdas geradas pela vibração das fôrmas e do próprio concreto já adensado. Portanto, o que se avalia em campo é a trabalhabilidade resultante do método específico de adensamento adotado.

Essa avaliação em campo ocorre, de forma geral, por meio de ensaios que buscam representar o comportamento real do concreto fresco. Porém, nenhum ensaio é capaz de fornecer uma avaliação completa da trabalhabilidade. O mais utilizado é o ensaio de abatimento do tronco de cone (Slump Test) apresentado na Figura 1, regulamentado pela Associação de Normas Técnica (ABNT) NBR NM 67:1998 e atualizado pela Associação de Normas Técnica (ABNT) NBR 16889:2020.

Imagem 1 – Ensaio de abatimento de tronco de cone (Slump Test)



Fonte: Pereira (2019).

Conforme demonstrado na Imagem 1, o procedimento de ensaio segue parâmetros normatizados que garantem uma precisão técnica ao ensaio. Segundo Mehta e Monteiro (2008, p. 361):

O equipamento para o ensaio de abatimento é realmente muito simples. Consiste em uma haste de socamento e um tronco de cone, de 300 mm de altura e 100 mm de diâmetro no topo e 200 mm de diâmetro na base. O tronco de cone é preenchido com concreto e, depois, lentamente suspenso. O concreto, sem apoio, abate-se com seu próprio peso; o decréscimo da altura do tronco do cone é chamado de abatimento do concreto.

Essa avaliação prática reflete a natureza complexa da trabalhabilidade, que, segundo Mehta e Monteiro (2008), não é uma propriedade simples, mas resulta da combinação de duas características principais: a consistência que indica a facilidade de fluidez da mistura, e coesão, que representa a resistência à segregação.

Segundo Bauer (2025), ao discutir sobre a trabalhabilidade do concreto, observa-se a necessidade de que a mistura apresente coesão suficiente para evitar processos de segregação. A segregação pode ser compreendida como a separação dos constituintes de uma mistura, ocasionando a perda de sua uniformidade.

Ademais, a exsudação como aponta Neville (2016, p. 216) “é uma forma de segregação na qual parte da água da mistura tende a migrar para a superfície do concreto recém-lançado”. Contribuindo também para a perda de homogeneidade e comprometimento da trabalhabilidade. Tendo em vista que trabalhabilidade depende diretamente da composição da mistura e das condições de execução, o controle desses fatores é essencial para mitigar riscos como a segregação e exsudação.

Imagem 2 – Exsudação em piso de concreto



Fonte: Catusso *et al.* (2015).

A compreensão dos fatores que afetam a trabalhabilidade é, portanto, essencial. Segundo Petrucci (1998), tais fatores podem ser classificados em internos e externos. Os fatores internos estão ligados à composição da mistura e incluem a consistência, o traço, a granulometria, a forma dos agregados e o uso de aditivos. Já os fatores externos se referem às condições de execução, como o tipo de mistura, transporte, lançamento e adensamento do concreto, além das dimensões e armadura da peça a ser executada.

2.1.2 Propriedades do Concreto no Estado Endurecido

Segundo Bauer (2025), o concreto é um material que se encontra em constante evolução, originado por alterações físico-químicas resultantes da reação envolvendo o ligante e os demais constituintes utilizado para sua fabricação. Em seu estado endurecido, destaca-se pela sua grande capacidade de resistir a esforços mecânicos e durabilidade contra intempéries, assegurando a estabilidade da estrutura e a proteção contra agentes agressivos que possam comprometer seu desempenho estrutural. A Imagem 3 ilustra o concreto em seu estado endurecido.

Imagem 3 – Concreto em seu estado endurecido



Fonte: Eurolab (2025).

Nesse contexto, a permeabilidade assume o papel central no desempenho. Apesar de sua aparência compacta o concreto em sua fase endurecida possui uma rede de poros capilares que permitem o transporte de fluídos, assim, elevados índices de permeabilidade podem comprometer a vida útil da estrutura, ao facilitar a entrada de agentes agressivos responsáveis por mecanismos de deterioração. Para Neville (2015), existem três fluidos que podem penetrar no concreto, sendo eles: a água (pura ou com íons agressivos), gás carbônico e o oxigênio.

Segundo o autor, a durabilidade do concreto irá depender da facilidade com que podem penetrar e se movimentar em seu interior, característica que é denominada normalmente como permeabilidade do concreto. Para o objeto deste estudo, situado em ambiente fluvial, essa propriedade é crítica, pois a porosidade excessiva pode se tornar a porta de entrada para os processos de degradação.

Para compreender a origem dessa porosidade, Oliveira (2012) explica que a permeabilidade do concreto é proporcional ao fator água/cimento (a/c) e inversamente proporcional aos finos presentes na mistura. O autor destaca ainda que o processo de cura é fator determinante, tendo em vista que uma má cura pode gerar microfissuras devido à baixa hidratação e, conseqüentemente, um maior número de vazios.

2.2 COMPONENTES DO CONCRETO

2.2.1 Cimento Portland

Segundo a Associação brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 12655 (2022) no item 3.23, o cimento Portland é definido como sendo um “aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland, ao qual se adiciona, durante essa operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a essa mistura materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos, nos teores indicados nas normas específicas”.

Essa definição normativa corresponde, de forma prática, às etapas do processo industrial descritas por Neville (2016, p. 2), que detalha a sequência produtiva do cimento Portland da seguinte maneira:

O processo de fabricação do cimento consiste essencialmente na moagem da matéria-prima, na sua mistura íntima em determinadas proporções e na queima (a temperaturas de até cerca de 1.450 °C) em grandes fornos rotativos, onde o material é sinterizado e parcialmente fundido, tomando a forma de esferas conhecidas como clín-queres. O clínquer é resfriado e recebe a adição de um pequeno teor de sulfato de cálcio, sendo então moído até se tornar um pó bastante fino. O material resultante é o cimento Portland, tão utilizado em todo o mundo.

Quando outras matérias-primas (adições minerais) são incorporadas ao clínquer durante a moagem, suas propriedades são modificadas, originando os chamados cimentos Portland compostos (BATTAGIN, 2011; CINCOTTO, 2011). Atualmente, há diversos tipos de cimento Portland, cada qual com características específicas que impactam diretamente no desempenho, durabilidade e aplicabilidade do concreto. A escolha do cimento deve levar em consideração fatores como disponibilidade, custo, e sobretudo as exigências técnicas e ambientais da estrutura.

Conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 16697:2018, “os cimentos Portland são designados por seu tipo que correspondem a adições e propriedades especiais. São identificados por suas siglas, seguidas de sua classe de resistência (25, 32, 40 ou ARI), acrescidas dos sufixos RS e BC, quando aplicáveis”. O Quadro 1, demonstra a designação normalizada, siglas e as classes de

resistência dos diferentes tipos de cimento Portland, incluindo seus subtipos. Além disso, alguns cimentos podem apresentar sufixos específicos.

Quadro 1 – Designação normalizada, siglas e classes de resistência dos diferentes tipos de cimento Portland

Designação normalizada (tipo)	Subtipo	Sigla	Classe de resistência	Sufixo
Cimento Portland comum	Sem adição	CP I	25, 32 ou 40 ^c	RS ^a ou BC ^b –
	Com adição	CP I-S		
Cimento Portland composto	Com escória granulada de alto forno	CP II-E		
	Com material carbonático	CP II-F		
	Com material pozolânico	CP II-Z		
Cimento Portland de alto-forno		CP III	ARI ^d	
Cimento Portland pozolânico		CP IV		
Cimento Portland de alta resistência inicial		CP V	25, 32 ou 40 ^c	
Cimento Portland branco	Estrutural	CPB		
	Não estrutural	CPB	–	–

^a O sufixo RS significa resistente a sulfatos e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.3, além dos requisitos para seu tipo e classe originais.

^b O sufixo BC significa baixo calor de hidratação e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.4, além dos requisitos para seu tipo e classe originais.

^c As classes 25, 32 e 40 representam os valores mínimos de resistência à compressão aos 28 dias de idade, em megapascals (MPa), conforme método de ensaio estabelecido pela ABNT NBR 7215.

^d Cimento Portland de alta resistência inicial, CP V, que apresenta a 1 dia de idade resistência igual ou maior que 14 MPa, quando ensaiado de acordo com a ABNT NBR 7215 e atende aos demais requisitos estabelecidos nesta Norma para esse tipo de cimento.

Fonte: NBR 16697(2018).

Dessa forma, a correta identificação dos tipos de cimento, conforme padronização estabelecida pela NBR 16697:2018, é fundamental para garantir o desempenho adequado das estruturas. Ao ser feita a escolha do cimento deve ser considerado tanto a classe de resistência quanto as propriedades especiais, indicadas pelos sufixos RS ou BC mostrado na Tabela 1, sempre em função das condições ambientais e das exigências do projeto.

Segundo Neville (2016, pg. 68), as categorias de cimento representam apenas uma organização funcional básica. Para o mesmo os produtos de mesma categoria podem apresentar entre si variações significativas, enquanto cimentos de tipos distintos podem demonstrar propriedades técnicas equivalentes, permitindo que um único material seja classificado como sendo de vários tipos. Dessa forma, a especificação do cimento Portland exige cautela e um rigoroso critério técnico.

Ademais, o Quadro 2 apresenta a composição de diferentes tipos de cimento Portland, demonstrando as variações permitidas nos teores de clínquer e adições minerais (escória, pozolona e material carbonático).

Quadro 2 – Limites de composição do cimento Portland

Designação normalizada		Sigla	Clínquer + sulfatos de cálcio	Escória granulada de alto-forno	Material pozzolânico	Material carbonático
Cimento Portland comum		CP I	95 - 100	0 - 5		
		CP I-S	90 - 94	0	0	6 - 10
Cimento Portland composto com escória granulada de alto-forno		CP II-E	51 - 94	6 - 34	0	0 - 15
Cimento Portland composto com material pozzolânico		CP II-Z	71 - 94	0	6 - 14	0 - 15
Cimento Portland composto com material carbonático		CP II-F	75 - 89	0	0	11 - 25
Cimento Portland de alto forno		CP III	25 - 65	35 - 75	0	0 - 10
Cimento Portland pozzolânico		CP IV	45 - 85	0	15 - 50	0 - 10
Cimento Portland de alta resistência inicial		CP V	90 - 100	0	0	0 - 10
Cimento Portland branco	Estrutural	CPB	75 - 100	-	-	0 - 25
	Não estrutural		50 - 74	-	-	26 - 50

Fonte: NBR 16697 (2018).

A diversidade do cimento Portland não se restringe apenas à sua classe de resistência, mas também, à sua composição específica. A adição de diferentes materiais ao clínquer e ao sulfato de cálcio, conforme detalhado nas normas específicas para cada tipo, confere ao cimento propriedades distintas que impactam diretamente o desempenho e a durabilidade do concreto.

2.2.2 Agregados

Tradicionalmente, os agregados eram definidos como materiais que como preenchimento e inertes, porém essa concepção foi posteriormente ampliada por autores como Neville (2016, pg. 111), que propõem uma visão mais integrada do papel dos agregados no concreto. Para ele, “os agregados não são verdadeiramente inertes, já que suas propriedades físicas, térmicas e, algumas vezes, químicas influenciam o desempenho do concreto”.

A qualidade dos agregados utilizados na composição do concreto influencia diretamente na propriedade do concreto, conforme a NBR 7211:2022 “os agregados devem ser compostos por grãos de minerais duros, estáveis e duráveis, e não podem conter substâncias de natureza e em quantidade que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra a corrosão, a durabilidade ou, quando for requerido, o aspecto visual externo do concreto”.

Ademais, considerando que os agregados ocupam cerca de 65 a 70% do volume total do concreto (HELENE; ANDRADE, 2009), torna-se indispensável o controle rigoroso da sua granulometria, conforme estabelece a NBR 7211:2022, sob risco de fissuração e comprometimento da durabilidade da estrutura. De acordo com a norma os agregados são classificados quanto ao tamanho quanto ao tamanho conforme apresentado no quadro 3.

Quadro 3 – Designação normalizada, siglas e classes de resistência dos diferentes tipos de cimento Portland

Tipo de agregado	Definição
Agregado graúdo	Material cujos grãos passam pela peneira de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de 4,75 mm.
Agregado miúdo	Material cujos grãos passam pela peneira com abertura de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de 150 µm.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 7211, (2022).

Além da classificação por tamanho, segundo Bastos (2006) os agregados podem, ser classificados quanto à sua origem em: naturais, provenientes da natureza (como pedregulhos); artificiais, quando resultantes industriais (como argila expandida, vermiculita etc.); ou britados, quando submetidos ao processo de britagem como ocorre com a pedra britada e pedrisco.

2.2.3 Água de Amassamento

De acordo com Bastos (2019), “a água é vital no concreto pois, juntamente com o cimento, produz a matriz resistente que aglutina os agregados e confere ao concreto a durabilidade e a vida útil prevista no projeto das estruturas”. A ABNT NBR 15900-1 especifica a água para amassamento do concreto, estabelecendo que a água de abastecimento público é considerada adequada para uso e não necessita ser ensaiada.

No entanto, para águas de outras fontes, Souza e Ripper (2009, pg. 92) ressaltam que o líquido:

[...] deve ser potável (ou, se não o for, não ter cheiro, nem sabor), não devendo conter matérias em suspensão, impurezas químicas (cloretos e sulfatos) e resíduos industriais, especialmente os hidratos de carbono (açúcares) que, mesmo em pequenas quantidades, podem retardar em muito e até mesmo impedir a pega do concreto.

Imagem 4 – Adição de água na massa de concreto



Fonte: EngWhere (2019).

Após a hidratação, essa água permanece na estrutura interna do material de diferentes formas (Imagem 4). Segundo Fonseca (2010), está presente na pasta endurecida sob diversas classificações:

Água capilar: água que está livre da influência das forças de atração exercidas pela superfície sólida. Divide-se em duas categorias: água livre (presente em vazios grandes) e água retida por tensão capilar em capilares pequenos, cuja remoção pode causar a retração do sistema.

Água adsorvida: são as moléculas de água que estão fisicamente adsorvidas, por pontes de hidrogênio, na superfície dos sólidos da pasta. Na interação do concreto com o meio, sua movimentação é a principal causa da reologia do concreto.

Água interlamelar ou água de gel: é a água associada à estrutura do C-S-H (silicato de cálcio hidratado), que somente é perdida por secagem forte. Acredita-se que uma camada monomolecular de água existe entre as camadas de C-S-H, estando está fortemente ligada por pontes de hidrogênio.

Água quimicamente combinada ou água de cristalização: água que é parte integrante da estrutura de vários produtos hidratados do cimento. Somente pode ser liberada quando os produtos hidratados são decompostos por aquecimento.

Contudo, o controle desse insumo é crítico. A quantidade de água utilizada na produção do concreto tem influência direta em diversas propriedades fundamentais, como: densidade, compacidade, porosidade, permeabilidade, capilaridade, fissuração e resistência mecânica (GIDRÃO, 2014).

Complementando essa visão, Jatobá (2006), alerta que, embora o excesso de água facilite o lançamento (aumentando a deformabilidade), ele provoca riscos elevados de segregação e exsudação. Em obras convencionais, esse excesso resulta em um concreto poroso e fraco. Para obter fluidez sem comprometer a resistência, à prática moderna recomenda o uso de aditivos plastificantes em vez da adição indiscriminada de água.

2.2.4 Aditivos e Adições Minerais

As adições definidas como minerais são materiais siliciosos finamente moídos, que na maioria das vezes são adicionados ao concreto em proporções variáveis, de 6% a 70% da massa total dos materiais cimentícios. Além disso, as adições podem promover a substituição parcial do cimento Portland. As mesmas podem ser obtidas de fontes naturais ou de alguns subprodutos de atividades industriais (LISBOA *et al.*, 2017).

Segundo estudos de Nunes *et al.* (2021), ensaios laboratoriais demonstram que a utilização de adições minerais como sílica ativa, metacaulim e escória de alto-forno proporcionam:

- Melhorias na resistência à compressão;
- Redução da absorção capilar;
- Aumento da durabilidade frente a ataques químicos e consequentemente maior durabilidade química.

Diferentemente das adições, os aditivos segundo a NBR 11768-1 (2019), são produtos adicionados em pequenas quantidades (geralmente até 5% da massa de cimento) para modificar propriedades específicas no estado fresco ou endurecido.

Bauer (2013, pg. 136), classifica os aditivos “tendo como base as finalidades de sua aplicação”, agrupando-os em:

Aditivos para trabalhabilidade: plastificantes redutores; incorporadores de ar; dispersantes ou fluidificantes;

Modificadores de resistência mecânica: redutores plastificantes;

Modificadores de resistência do concreto em condições especiais: incorporadores de ar;

Modificadores de pega e endurecimento: retardadores; aceleradores;

Impermeabilizantes: repelentes à absorção capilar; redutores da permeabilidade;

Expansores: geradores de gás; estabilizadores de volume; geradores de espuma.

2.2.5 Durabilidade do Concreto

Segundo Neville (2016), é fundamental que o concreto desempenhe suas funções e mantenha sua condição de durabilidade ao longo de sua vida útil projetada. Para o autor, a durabilidade considerada inadequada se manifesta pela deterioração e pode ocorrer principalmente devido a três tipos de ações:

- Mecânica: Resultante de impactos;
- Química: Associada às reações álcali-sílica e álcali-carbonato;
- Física: Ocasionadas por efeitos de alta temperatura ou diferenças no coeficiente de dilatação térmica entre agregado e pasta de cimento endurecida.

Ademais, é importante destacar que essas ações frequentemente podem ocorrer de forma conjunta, potencializando a deterioração do concreto, visto que o motivo de problemas com a durabilidade raramente é resultado de apenas uma única causa.

Isaia (2001), complementa que, em sentido estrito, a durabilidade dos materiais está ligada à sua capacidade de manter suas características ao longo do tempo. Ou seja, é à resistência de um material ou elemento da construção à deterioração ou degradação.

Helene (2001), sistematiza a durabilidade da estrutura de concreto pela regra dos 4C:

- Composição ou traço do concreto;
- Compactação ou adensamento efetivo do concreto na estrutura;
- Cura efetiva do concreto na estrutura;
- Cobrimento ou espessura do concreto de cobrimento das armaduras.

2.2.6 Concretos para Ambientes Agressivos

A dosagem do concreto deve ser ajustada conforme a zona de exposição da estrutura, especialmente em obras hidráulicas onde diferentes elementos estão sujeitos a microclimas distintos. Segundo Helene (1993), as estruturas em contato com a água podem ser divididas em zonas de agressividade: submersa, de variação de nível e aérea.

Para a zona de variação de nível (região de respingos), considerada a mais crítica devido aos ciclos de molhagem e secagem que aceleram a corrosão e a lixiviação, recomenda-se o uso de concretos de Alto Desempenho (CAD). A incorporação de sílica ativa (5% a 10% da massa de cimento) é altamente eficaz nessa situação, pois refina os poros e aumenta a resistência à abrasão hidráulica. Além disso, a relação água/cimento deve ser mantida abaixo de 0,50 para garantir a estanqueidade (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Existem cinco tipos de cimento que são considerados resistentes a sulfatos. Todavia, existem algumas condições, devendo apresentar teor de aluminato tricálcico (C_3A) do clínquer e teor de adições carbonáticas de no máximo 8% e 5% em massa, respectivamente. Além disso, os cimentos do tipo alto forno devem possuir entre 60% e 70% de escória granulada de alto forno em massa. Por outro lado, cimentos do tipo pozolânico devem apresentar entre 25% e 40% de material pozolânico em massa. Por fim, cimentos que foram testados a partir de ensaios de longa duração, ou que comprovem resistência aos sulfatos (ZARZAR JÚNIOR e OLIVEIRA, 2016).

2.3 CONCRETO ARMADO

O concreto um dos materiais mais utilizados na construção, composto basicamente por cimento, água e agregados, se destaca por sua capacidade de resistência, porém para utilização estrutural segundo Chust e Figueiredo (2014, pg. 19) “o concreto sozinho não é adequado como elemento resistente, pois, enquanto tem uma boa resistência à compressão, pouco resiste à tração.”

Desde os primórdios da civilização, a humanidade tem buscado desenvolver estruturas adaptadas às suas necessidades, com isso foi se acumulando um grande acervo científico ao longo do tempo. O ritmo acelerado do desenvolvimento construtivo trouxe consigo a necessidade de inovação, resultando em riscos cada vez maiores que exigiram estudos mais aprofundados sobre materiais e estruturas (HELENE, 1988).

Dessa forma, o conceito de concreto armado surgiu pela necessidade de unir o concreto, que é um material que possui resistência às tensões de compressão, às barras de aço, que possuem elevada resistência à tração, sendo utilizadas como armaduras dispostas a resistir às tensões de tração atuantes e protegidas contra a corrosão pelo próprio concreto (BASTOS, 2006).

Imagem 5 – Armadura para concreto



Fonte: Mateus Carvalho (2023).

A eficiência do concreto armado depende diretamente da interação entre concreto e as armaduras de aço. A aderência é um ponto chave para essa boa interação. Como apontado por Tavares (2012, pg. 23), “é um dos mecanismos mais importantes para a existência das estruturas de concreto armado, uma vez que para absorver os esforços solicitantes, os dois materiais atuam em conjunto.”

A aderência impede o escorregamento entre a armadura e o concreto, facilitando a transmissão dos esforços entre os materiais. Esse trabalho conjunto é fundamental para garantir a estabilidade de uma estrutura, uma vez que o comportamento eficiente do concreto armado está diretamente relacionado à interação eficaz entre os componentes (ALMEIDA, 2002).

2.3.1 Armaduras no Concreto Armado

As armaduras são elementos essenciais para as estruturas de concreto armado, sendo responsáveis por resistir esforços que o concreto, por si só, não suporta adequadamente, como a tração. De acordo com a NBR 6118 (2023, p. 3), as armaduras são classificadas em armaduras passivas, definidas como “qualquer armadura que não seja usada para produzir forças de protensão, isto é, que não seja previamente alongada”, e ativas (de protensão), que são “armadura constituída por barras, fios isolados ou cordoalhas, destinada à produção de forças de protensão, isto é, na qual se aplica um pré-alongamento inicial”.

No concreto armado, a armadura utilizada é do tipo passiva. Segundo Clímaco (2008), as barras de aço utilizadas nas peças de concreto, são chamadas de armadura passiva quando têm a função de resistir as tensões geradas pelas ações atuantes, sem a aplicação de esforços adicionais. Dessa forma, essas armaduras só entram em funcionamento se houver solicitação da estrutura.

Compreender as características do aço utilizado nas armaduras é essencial para garantir o desempenho da estrutura. Segundo Edward e Joseph (2013, pg. 530) “as barras de aço popularmente conhecidas como “vergalhões” para as construções de concreto são laminadas a quentes do mesmo modo que os perfis estruturais”.

A escolha do aço para as armaduras é normatizada pela NBR 7480:2022, que classifica os aços com sua resistência característica ao escoamento (f_{yk}). Essa classificação está apresentada no Quadro 4.

Quadro 4 – Classificação do aço para armadura passiva

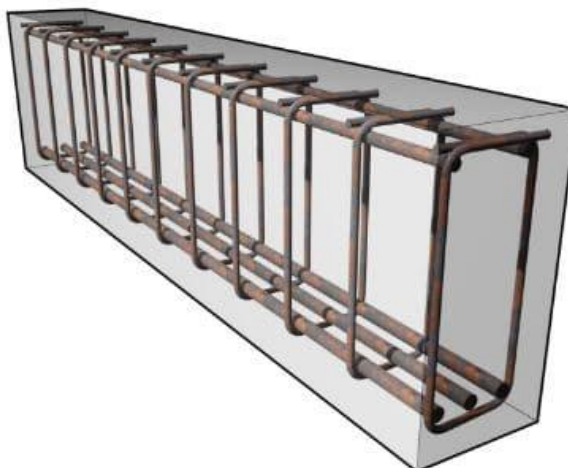
Categoria	f_{yk}
CA-25	250 MPa
CA-50	500 MPa
CA-60	600 MPa

Fonte: Marino (2015).

A superfície das barras de aço desempenha um papel crucial na qualidade da aderência. Para Neville (2016), como o concreto estrutural normalmente é utilizado com armaduras, a aderência entre ambos é um fator essencial. Essa aderência se origina a partir do atrito e da ligação entre o aço e concreto, além do intertravamento mecânico, especialmente no caso de barras nervuradas. Ainda segundo o autor, a resistência de aderência depende não apenas das propriedades do concreto, mas

também de outros fatores relacionados à armadura, como a geometria das barras, a espessura do cobrimento e as condições da superfície do aço.

Imagem 6 – Viga de concreto Armado



Fonte: Ricardo Meneghel (2022).

O Quadro 5 apresenta os valores do coeficiente de aderência para diferentes tipos de barras, conforme a NBR 6118 (2023).

Quadro 5 – Valor do coeficiente de aderência η_1

Tipo de superfície	η_1
Lisa	1,0
Entalhada	1,4
Nervurada	2,25

Fonte: NBR 6118, 2023.

Observa-se que o coeficiente de aderência aumenta conforme a superfície da barra se torna mais rugosa, esse aumento é fundamental e bem visível se comparada com a lisa que tem um coeficiente de 1,0, a nervurada atinge o valor de 2,25. Na prática das estruturas esse desempenho superior permite uma ancoragem superior, tornando vigas e colunas mais eficientes contra tensões de tração.

2.3.2 Proteção das Armaduras: Cobrimento e Classes de agressividade ambiental

A proteção das armaduras é um fator fundamental para garantir a durabilidade das estruturas de concreto armado, especialmente em ambientes sujeitos à ação de agentes agressivos.

A determinação do cobrimento mínimo leva em consideração fatores como, a base no diâmetro das barras, a classe de agressividade ambiental (CAA), e o tipo de elemento estrutural, conforme estabelecido pela NBR 6118 (2023). A classificação da agressividade ambiental (CAA) é apresentada no Quadro 6.

Quadro 6 – Classificação de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fracá	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: NBR 6118, 2023.

A análise do Quadro 6 permite compreender que a vida útil de uma estrutura está ligada ao ambiente em que está inserida. A transição da classe de agressividade I para a classe IV, impõe a necessidade de uma escolha apropriada dos materiais e cobrimentos maiores. Essa distinção é o que garante que estruturas suportem as condições de exposições previstas.

Após a definição da classe de agressividade ambiental (CAA), a norma estabelece o cobrimento nominal para garantir a proteção do aço, os valores correspondentes, que variam de acordo com o tipo de componente e elemento são apresentados no Quadro 7.

Quadro 7 – Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal para $\Delta c = 10 \text{ mm}$

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal $\geq 15 \text{ mm}$.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal $\geq 45 \text{ mm}$.

Fonte: NBR 6118 (2023).

Dessa forma, os ambientes classificados como classe III e IV apresentados na tabela acima, requerem cobrimentos mais espessos para garantir a proteção das armaduras. No caso específico de Itaituba/PA, na qual a água doce contém elevados teores de sulfatos devido à atividade de garimpo, a consideração adequada do cobrimento é essencial para diminuir o risco de patologias estruturais, como a corrosão das armaduras.

De acordo com Helene (1986, pg 4), um bom cobrimento deve possuir alta compacidade, sem “ninhos”, e possuir teor de argamassa adequado e homogêneo. Tais características tem como objetivo proteger a armadura contra o ataque de agentes agressivos externos por meio da impermeabilidade. Logo, o cobrimento protege a camada passivante da armadura contra danos mecânicos e mantém sua estabilidade físico-química.

2.4 TERMINAL HIDROVIÁRIO DR. ALMIR GABRIEL

2.4.1 Contexto Histórico

Construído no mandato de prefeito do Sr. Edilson Dias Botelho substituindo o antigo trapiche em madeira. Em 2012, o terminal foi interditado pelo Corpo de Bombeiros devido ao risco iminente de colapso estrutural, demandando uma ampla

reforma entre 2012 e 2014, financiada pelo Governo do Estado do Pará em cerca de R\$ 2,7 milhões (SCHUBER, 2019).

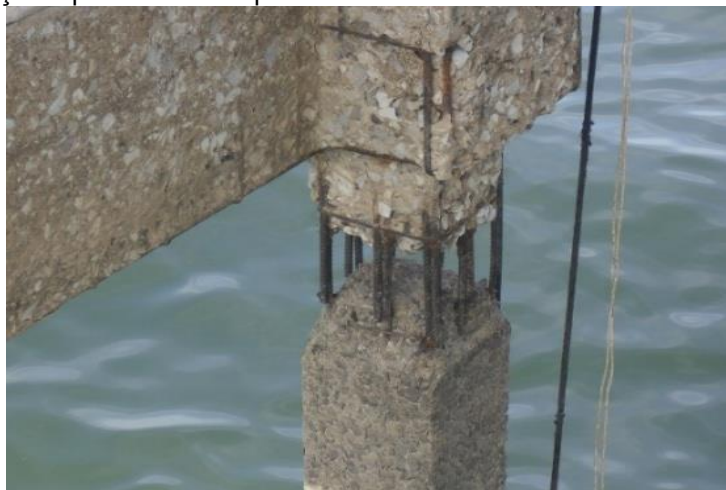
Imagem 7– Vistoria de bombeiro no terminal hidroviário municipal



Fonte: Blog Junior Ribeiro (2011).

Após vistoria técnica dos bombeiros na estrutura do Terminal Hidroviário de Itaituba (Imagem 7), constatou-se o estado crítico de degradação estrutural (Figura 8), culminando na interdição imediata pelo Corpo de Bombeiros de Itaituba por risco iminente de colapso.

Imagem 8 – Condições que o terminal apresentava antes da reforma entre os anos de 2012 e 2014.



Fonte: Blog Junior Ribeiro (2012).

A Imagem 9 mostra o terminal hidroviário que passou por um período de reforma e ampliação após sua conclusão de obra e ampliação que foram feitas.

Imagem 9 – Plataforma de embarque após a conclusão da reforma e ampliação



Fonte: Sadeck (2015).

Atualmente, segundo dados da Prefeitura Municipal de Itaituba (2025) o terminal hidroviário municipal passará por um processo de reforma e ampliação e contará com investimento anunciado pela Companhia de Portos e Hidrovias do Pará (CPH) em cerca de 3 milhões de reais para a obra.

2.4.2 Rio Tapajós

No contexto amazônico as atividades de garimpagem têm aumentado drasticamente, e com elas os impactos negativos a bacia Amazônica Brasileira, por influenciar no desmatamento, nos riscos à saúde, violência, perda de culturas e identidades, irregularidade e ilegalidade dos produtos extraídos (RISSO, *et al.*, 2021).

De acordo com Diniz *et al.* (2022, pg. 2), os principais impactos ocasionados por essa atividade é o “transporte de sedimentos pelos rios e lagos da Amazônia. [...] Os sedimentos desta atividade são descartados diretamente das plantas de extração (ou lixiviados pelas chuvas, já que perderam a proteção florestal) para os rios”. Barretos (2025) quantificou fluxo sedimentar anual de $4,02 \times 10^6$ ton. ano⁻¹.

De acordo com estudos feitos por Vieira *et al.* (2021), foram identificados na orla de Itaituba concentrações de cloreto (Cl^-) até 30,52 mg/L provenientes de esgoto doméstico e tráfego hidroviário intenso. Apesar dos dados estarem abaixo da CONAMA 357/05, o cenário é considerado um alerta devido à tendência de aumento dessas concentrações.

Levando em consideração a NBR 6118 (2023), a tabela de classificação de agressividade mostrada na Tabela 6, é possível verificar que estruturas submersas possuem risco de deterioração insignificante. Porém, diante desse cenário de

aumento de sedimentos ocasionados pela atividade garimpeira, juntamente à presença de cloretos provenientes de esgoto doméstico e do tráfego hidroviário intenso, seria uma situação que iria demandar reavaliação. Logo, tais fatores devem ser considerados na escolha dos materiais e dimensionamento de estruturas submersas na região.

2.5 ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS (ELU) E DE SERVIÇO (ELS)

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 6118:2023 no item 3.2.1 define estado limite último como aqueles relacionados ao colapso, ou qualquer outra ruína estrutural, que determine a paralisação do uso da estrutura. Segundo Chust e Figueiredo (2001), o ELU está relacionado ao colapso total ou parcial da estrutura em questão, que determine a interrupção no uso da edificação, em todo ou em parte.

Segundo o item 10.3 da NBR 6118 (2023), a segurança aos seguintes estados limites últimos devem ser atendidos:

- a) Estado limite último da perda do equilíbrio da estrutura, admitida como corpo rígido;
- b) estado limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, devido às solicitações normais e tangenciais, podendo admitir-se verificações separadas destas solicitações;
- c) estado limite último da capacidade resistente da estrutura, considerando efeitos de segunda ordem;
- d) estado limite último provocado por solicitações dinâmicas;
- e) estado limite último de colapso progressivo;
- f) outros estados limites últimos que possam ocorrer em casos especiais.

Definido no item 10.4 da NBR 6118 (2023), os estados limites de utilização estão ligados à durabilidade, aparência e boa utilização das estruturas. Abaixo estão descritos alguns dos ELS definidos de acordo com o item 3.2 da NBR 6118 (2023):

- a) ELS-F – Estado Limite de Formação de Fissuras: estado em que se inicia a formação de fissuras;
- b) ELS-W – Estado Limite de Abertura de Fissuras: estado em que as aberturas atingem o valor máximo especificado para utilização normal da edificação;

c) ELS-DEF – Estado Limite de Deformações Excessivas: estado em que as deformações atingem o valor máximo especificado para utilização normal da edificação;

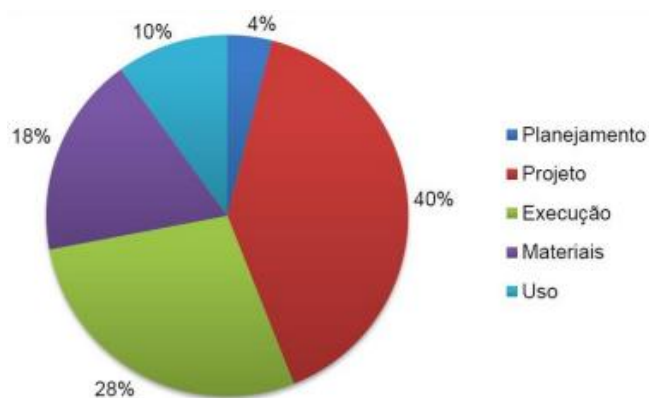
d) ELS-VE – Estado Limite de Vibrações Excessivas: estado em que as vibrações atingem o valor máximo especificado para utilização normal da edificação.

2.6 PRINCIPAIS CAUSAS DAS PATOLOGIAS

De acordo com Lichtenstein (1986), os problemas nas estruturas podem ser causados por diferentes tipos de agentes de deterioração, como agentes mecânicos, eletromagnéticos, térmicos, químicos e biológicos.

Para Helene (1992), as falhas das estruturas podem ocorrer em algumas partes do ciclo de vida da edificação, sendo ela a mais comum que ocorrer na etapa de projeto como mostra no gráfico 01.

Gráfico 01 – Causa de origem das patologias nas fases de uma construção



Fonte: Helene (2003).

O fato que 40% das falhas, conforme indicado no gráfico 01, terem origem na etapa do projeto só mostra a importância de uma análise técnica detalhada. Ademais, a distribuição dessas causas só demonstra que a qualidade final de uma estrutura está ligada em fases, onde cada uma deve ser rigorosamente seguida de forma correta para evitar problemas futuros.

2.7 TIPOS DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS COMUNS

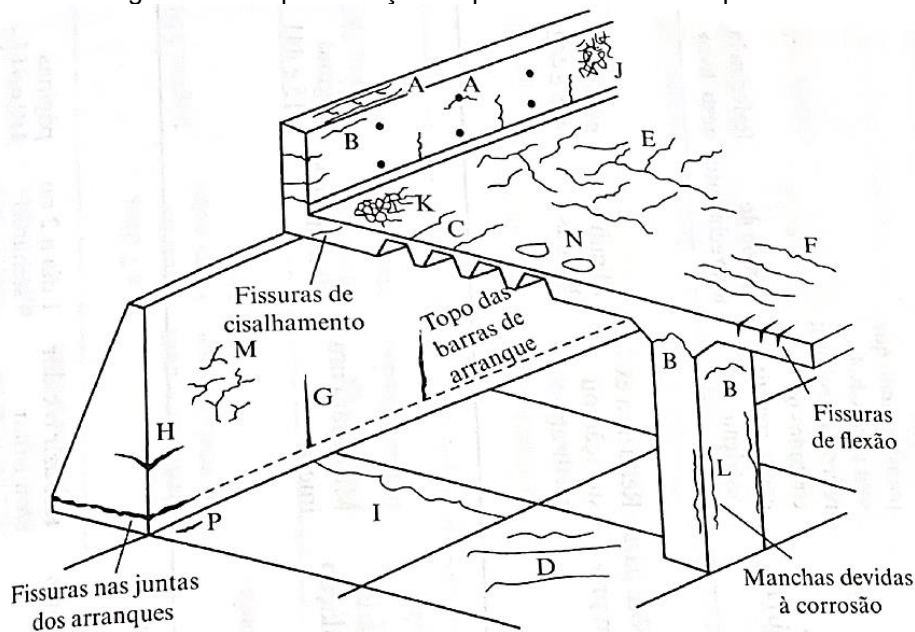
2.7.1 Fissuras

Para Gonçalves (2015), as fissuras são pequenas aberturas na estrutura que facilitam a penetração e ação de elementos agressores, podendo comprometer as características físicas da edificação, ou até mesmo a resistência para a qual foi planejada.

De acordo com Thomaz (2020), não há valores exatos que diferem fissuras, trincas e rachaduras, mas geralmente admite-se que fissura é aquela que possui aberturas até a ordem de 0,5 mm; já as trincas apresentam valores entre 2 a 3 mm e as rachaduras apresentam aberturas maiores e são mais preocupantes.

Conforme ilustrado na Imagem 11 as fissuras podem ocorrer por diversas situações.

Imagem 10 – Representação esquemática de vários tipos de fissuras



Fonte: Neville, 2016.

Com base na representação visual de Neville (2016), as fissuras podem ser subdivididas de acordo com seu tipo e causas:

A a C – Assentamento Plástico: Ocorre devido à exsudação excessiva e ao adensamento natural do concreto fresco;

D a F – Retração Plástica: Causada pela evaporação rápida da água superficial antes do endurecimento (secagem precoce);

G e H – Retração Térmica Inicial: Tensões geradas pelo calor de hidratação do cimento e resfriamento desigual;

I – Retração por Secagem em Longo Prazo: Perda lenta da água capilar para o ambiente em peças com cura ineficiente ou juntas inadequadas;

J e K – Mapeamento: Ocorre pelo uso de misturas muito ricas em cimento, excesso de desempenho (acabamento) ou fôrmas impermeáveis;

L – Corrosão de Armadura: Expansão do aço devido à oxidação (cloretos ou carbonatação) por cobrimento insuficiente;

M – Reação Álcali-Agregado (RAA): Reação química expansiva entre álcalis do cimento e agregados reativos;

N – Bolhas: Aprisionamento de água de exsudação ou ar sob a superfície devido ao uso de desempenadeiras metálicas precocemente;

P – Fissuração por Congelamento: Expansão da água congelada nos poros do concreto endurecido.

2.7.1.1 Fissuras por excesso de cargas

Segundo Almeida (2002), as armaduras na parte inferior de vigas submetidas à flexão têm a função de resistir aos esforços de tração, enquanto o concreto na parte superior suporta os esforços de compressão. Quando a carga ultrapassa a capacidade da seção estrutural, ocorrem fissurações, especialmente nas regiões tracionadas.

Para Dutra (2016, pg. 25), “as fissuras por excesso de capacidade de carga surgem devido ao erro de cálculo ou na hora de confeccionar as peças, que podem nascer fracas, ou seja, com pouco cimento nas peças estruturais”.

2.7.1.2 Fissura por recalque

De modo geral, as fundações tendem a acompanhar o deslocamento do solo e recebem esforços adicionais. O recalque é definido como o deslocamento vertical de cima para baixo de uma fundação em relação a um referencial, geralmente o nível do terreno (VELLOSO; LOPES, 2004). Fissuras provocadas por recalques diferenciais são comuns em edificações onde partes da estrutura se movimentam de maneira desigual.

2.7.2 Lixiviação

Segundo a ABNT NBR 6118 (2023) em seu item 6.3.2.1 a lixiviação (Imagem 12) é definida como sendo um “mecanismo responsável por dissolver e carrear os compostos hidratados da pasta de cimento por ação de águas puras, carbônicas agressivas, ácidas e outras”.

Imagem 11 – Processo de lixiviação em viga de concreto armado



Fonte: Guide Engenharia (2017).

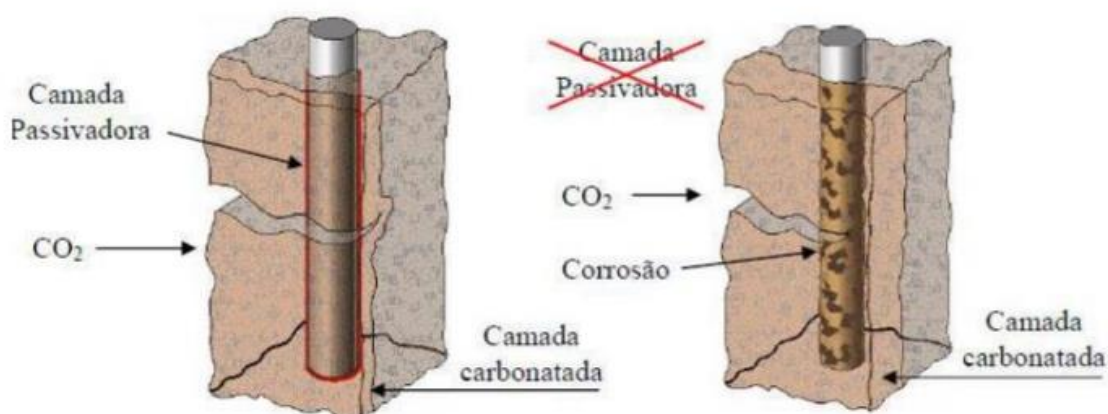
O processo de lixiviação tem início quando a água começa a dissolver os componentes presentes nas paredes dos poros do concreto, em nível microestrutural. Faz-se possível descrevê-lo minuciosamente da seguinte maneira: 1) as moléculas de água difundem a reação nas paredes dos poros; 2) as moléculas de água dissolvem os componentes sólidos; e 3) os componentes dissolvidos são transportados do local da reação para a solução presente no interior do poro (EKSTRÖM, 2001).

Além de afetar a aparência dos materiais pelo aparecimento da eflorescência, a lixiviação também pode comprometer sua integridade estrutural, pois o arraste do hidróxido de cálcio, que acaba por diminuir o pH do concreto, pode contribuir para a corrosão do material (SOUZA; RIPPER, 1998)

2.7.3 Carbonatação

A carbonatação do concreto é o resultado da reação do dióxido de carbono presente na atmosfera com compostos do cimento hidratado, formando carbonato de cálcio. A partir desse processo ocorre a redução do pH do concreto, retirando assim a proteção alcalina que ele exerce sobre a armadura, podendo então iniciar-se a corrosão do aço (TORGAL *et al.*, 2012). A imagem 13 demonstra o processo de carbonatação no concreto.

Imagem 12 – Processo de carbonatação no concreto



Fonte: Tula apud Barzan (2000).

Segundo Silva (2007, pg. 7):

A carbonatação acontece naturalmente em estruturas de concreto expostas à ação do dióxido de carbono, este difunde na superfície do concreto e, em presença da umidade dos poros, forma a frente de carbonatação.

Dessa forma, entende-se que a carbonatação é um processo que avança da superfície ao interior da estrutura. À medida que atinge o nível da armadura, ocorre a despassivação do aço. Em ambientes onde há variação de umidade, esse fenômeno desencadeia a corrosão expansiva, que resulta em fissuras e, posteriormente, no destacamento do cobrimento, expondo a estrutura a riscos e redução da vida útil.

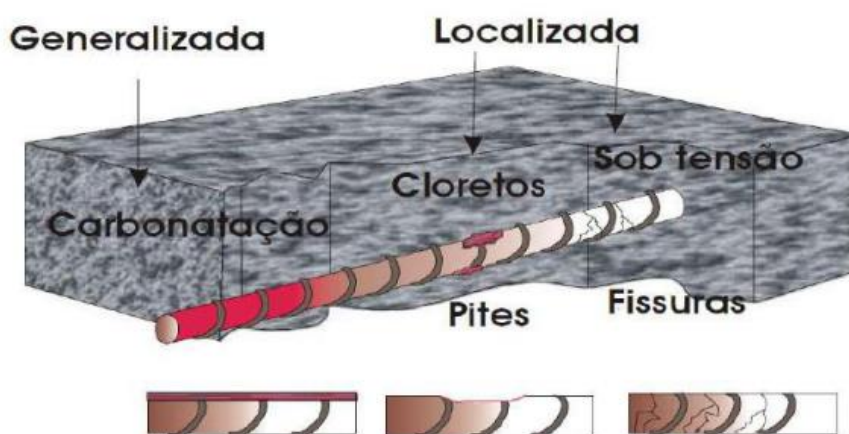
2.7.4 Corrosão das Armaduras

Ahmad (2003), explica que o desenvolvimento da corrosão das armaduras prejudica a durabilidade das estruturas em concreto armado. Segundo Sousa e Ripper (2009, pg 66):

Em qualquer caso o processo de corrosão do aço é eletroquímico, ou seja, dá-se pela geração de um potencial elétrico, na presença de um eletrólito - no caso, a solução aquosa existente no concreto – em contato com um condutor metálico, a própria barra de aço. A passagem de átomos de ferro à superfície aquosa, transformando-se em cátions ferro (Fe^{++}), com o consequente abandono da barra de aço à carga negativa, instalam a diferença de potencial.

A partir da Imagem 14, pode-se observar os diferentes tipos de deterioração provocadas pela corrosão, que variam dependendo dos agentes iniciadores e das condições de exposição da estrutura.

Imagem 13 – Tipos de corrosão e os fatores que as provocam



Fonte: Cascudo, 1997.

Nesse sentido, Sousa e Ripper (2009) afirmam que, independentemente do tipo de corrosão, ela deve ser interrompida, pois sua continuidade dará origem a outros problemas como, fissuração, à corrosão das armaduras e à desagregação do concreto que, em casos mais críticos de degradação a recuperação da estrutura torna-se economicamente impraticável.

2.7.5 Desagregação

De acordo com Mehta (2018), o processo de desagregação é definido pela eliminação de fragmentos ou placas de concreto com a perda de monolitismo (sistemas de construção com grande pedras ou monólitos) e da fixação do cimento, deixando os agregados soltos. Conforme demonstrado na imagem 15, onde se observa em um pilar esse fenômeno, a desagregação em si é uma manifestação patológica evolutiva que acarreta a perda de cobrimento e facilitam a entrada de agentes agressivos que comprometem a integridade da armadura.

Imagem 14 – Desagregação do concreto de um pilar



Fonte: Silva (2020).

Para Brik *et. al* (2013, n.p) a desagregação:

É o nome dado ao acontecimento de separação física de pedaços ou placas de concreto, com a perda da função ligante do cimento no concreto. Essa ocorrência é dada como frequente nas estruturas de concreto, sendo que quando ocorre, a estrutura perde a capacidade de resistir aos esforços que a solicitam. Suas causas são as mais diversas, como por exemplo movimentação de fôrmas, corrosão do concreto, calcinação do concreto, ataques biológicos, carbonatação do concreto, perda de aderência e desgaste do concreto.

Logo, no contexto de estruturas portuárias, esse fenômeno é intensificado pela abrasão hídrica e lixiviação, deixando a armadura vulnerável e reduzindo a seção útil do elemento estrutural.

2.8 TÉCNICAS E MÉTODOS DE INVESTIGAÇÃO DE PATOLOGIAS

2.8.1 Inspeção Visual e Avaliação Sensorial In Loco

A inspeção visual é um dos métodos mais utilizados pelo “simples fato de observar as condições superficiais de uma estrutura de concreto pode fornecer a um profissional experiente, conclusões sobre o estado desta estrutura” (MAZER, 2012).

A partir dessa perspectiva, observa-se que a inspeção visual é um dos pilares fundamentais para a engenharia diagnóstica. No contexto de estruturas hidroviárias, essa atividade técnica é indispensável, pois permite a detecção de anomalias em estágios que ainda permitem intervenções, além de servir como base para a escolha de técnicas adequadas para a recuperação da estrutura a ser analisada.

Enquanto a inspeção visual é focada na identificação e mapeamento, sendo o primeiro contato com a estrutura, a análise por sensoriamento é a integração entre os dados visuais e as percepções sensoriais. Segundo a NBR ISO 5492:2017 no item 1.1 a análise sensorial é uma “ciência relacionada com a avaliação dos atributos sensoriais de um produto pelos órgãos dos sentidos”. No âmbito da engenharia diagnóstica, essa ciência permite que o pesquisador acabe indo além do que é apenas visível na superfície da estrutura e baseando em atributos físicos sensoriais.

2.8.2 Ensaios Não Destrutivos (ultrassom, esclerometria, termografia)

Segundo o Instituto Brasileiro de Perícias e Avaliações de Engenharia – IBAPE (2024), “atualmente, os ENDs mais usuais em perícias de engenharia civil incluem: termografia, pacometria (detecção das armaduras), esclerometria, ultrassom ou medição da velocidade do pulso ultrassônico, profundidade da frente de carbonatação, profundidade da frente de penetração de cloretos, resistividade elétrica superficial do concreto e avaliação do potencial de corrosão das armaduras”.

Essas técnicas são amplamente utilizadas na análise de falhas e sua execução deve seguir rigorosamente prescrições normativas brasileiras. Conforme destaca Leite (2014) “os ensaios não destrutivos (END) são considerados técnicas de análises preditivas cada vez mais utilizadas por possibilitar a medição de propriedades específicas em materiais de fabricação sem causar qualquer dano permanente aos mesmos.

2.8.3 Ensaios Destrutivos e Semi-destrutivos

Segundo Mehta e Monteiro (2014), existem ocasiões que o ensaio não destrutivo não permite uma avaliação segura da resistência da estrutura, assim, é necessário a retirada de testemunhos diretamente da estrutura a ser avaliada, chamados de ensaios destrutivos de extração e rupturas de testemunhos. Esse método é a forma mais confiável de descobrir a real resistência do material, sendo decisivo em casos em que há sinais graves de desgaste profundo da estrutura.

Já as metodologias de natureza semidestrutiva segundo Justo (2023, pg. 26), “são conduzidas por meio da utilização de dispositivos portáteis de dimensões reduzidas, resultando em aberturas menores no pavimento para a realização das inspeções”. Esse método funciona como um equilíbrio que permite um diagnóstico detalhado sem precisar “ferir” a estrutura.

2.8.4 Instrumentos para Análise Pericial

Em uma inspeção, são utilizados diversos instrumentos, como régua de medição, giz para marcação, fio de prumo, nível d'água, escova de cerdas metálicas, lupa, binóculo, lanterna, equipamentos de registro de imagem, fissurômetro, extensômetros, martelo de geólogo, furadeira de impacto, além de aparelhos como pacômetro e esclerômetro, bem como dispositivos de acesso e equipamentos de proteção individual (CARMONA FILHO, 2000).

Em uma análise, essa variedade de instrumentos é o que permite uma melhor avaliação em casos como em estruturas em locais agressivos que necessitam de uma avaliação desde a superfície até a segurança interna da armadura, permitindo assim um diagnóstico completo dos reais problemas.

2.9 MÉTODO GUT PARA PRIORIZAÇÃO DE PATOLOGIAS

O Método GUT foi desenvolvido por Kepner e Tregoe na década de 1980, a partir da necessidade de resolução de problemas complexos nas indústrias americanas e japonesas. Várias contrariedades podem surgir em uma organização, e nem sempre é possível resolver todas ao mesmo tempo (KEPNER; TREGOE, 1981).

Nesse sentido, para que essa resolução seja estruturada é necessário decompor o problema. Para Knapp e Olivan (2021, p. 13), “a aplicação do método GUT possibilita comparar o desempenho de uma mesma estrutura ao longo da sua vida útil (gestão da manutenção) e/ou a comparação entre várias estruturas (critério de priorização para investimentos)”.

A Matriz de GUT, portanto é uma ferramenta utilizada para hierarquizar cada problema de acordo com seu impacto, segundo Meireles (2001, p. 51) “Esta ferramenta responde racionalmente às questões: O que devemos fazer primeiro? Por onde devemos começar?”. A partir dessa análise, torna-se possível, durante um plano de recuperação, focar inicialmente nos elementos que apresentem um maior risco à segurança e estabilidade da obra.

2.10 TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL

Noronha (1986), relata que “ao eleger um sistema de reparo, ou seja, de tratamento, deve ainda o Engenheiro considerar outros aspectos tais como, disponibilidades locais, custo, etc.”. A partir disso observa-se que nem sempre uma técnica de recuperação deve ser baseada na melhor disponível, mas sim no equilíbrio entre a realidade prática da obra e a eficiência técnica.

Segundo Aguiar (2016), antes de executar uma recuperação estrutural, deve-se seguir uma metodologia de diagnósticos, cujo primeiro passo é efetuar inspeções preliminares para avaliação, detalhamento das patologias e monitoramento de fissuras. A partir da identificação da origem e causa da patologia é que são definidas as técnicas de reparo. É importante definir se a estrutura passará por intervenções para recuperação ou se será necessário também um reforço, uma vez que os processos são diferentes para cada tipo de anomalia (RESENDE, 2018).

Dessa forma, a escolha entre recuperar ou reforçar a estrutura depende diretamente da precisão do diagnóstico preliminar. Saliba (2008), resume o procedimento de recuperação para estruturas de concreto armado, com incidência de corrosão de armadura, em 5 (cinco) etapas, e recomenda que estas etapas sejam realizadas por mão-de-obra especializada. As etapas estão descritas a seguir.

- 1) Avaliar e eliminar a causa do dano precedendo o início de execução reparo;
- 2) Fazer a escolha de um material de qualidade, levando em consideração a compatibilidade das características físico-químicas do projeto de origem;

3) Em busca do melhor desempenho para o material supracitado, deve-se observar e definir o método de aplicação mais adequado;

4) Executar a preparação da região que irá receber o reparo, livrando-o de todos os resíduos que possam dificultar a coesão com o novo material (óleos, graxas, concreto solto). Saturar o substrato com água, caso os materiais sejam de base mineral;

5) Execução da recuperação – aplicação do material - de forma cuidadosa, permitindo uma cura eficiente, resultando em um reparo com excelente vida útil, podendo se tornar até mais eficaz do que a original.

2.11 PROCESSOS DE RECUPERAÇÃO

2.11.1 Escoramento

Segundo a NBR 14931:2004 “O escoramento deve ser projetado de modo a não sofrer, sob a ação de seu próprio peso, do peso da estrutura e das cargas acidentais que possam atuar durante a execução da estrutura de concreto, deformações prejudiciais ao formato da estrutura ou que possam causar esforços não previstos no concreto.” A partir da definição normativa, compreende-se que o escoramento é um sistema que deve ser dimensionado para suportar todas as cargas durante a fase de intervenção e não apenas um suporte improvisado.

2.11.2 Remoção do Concreto

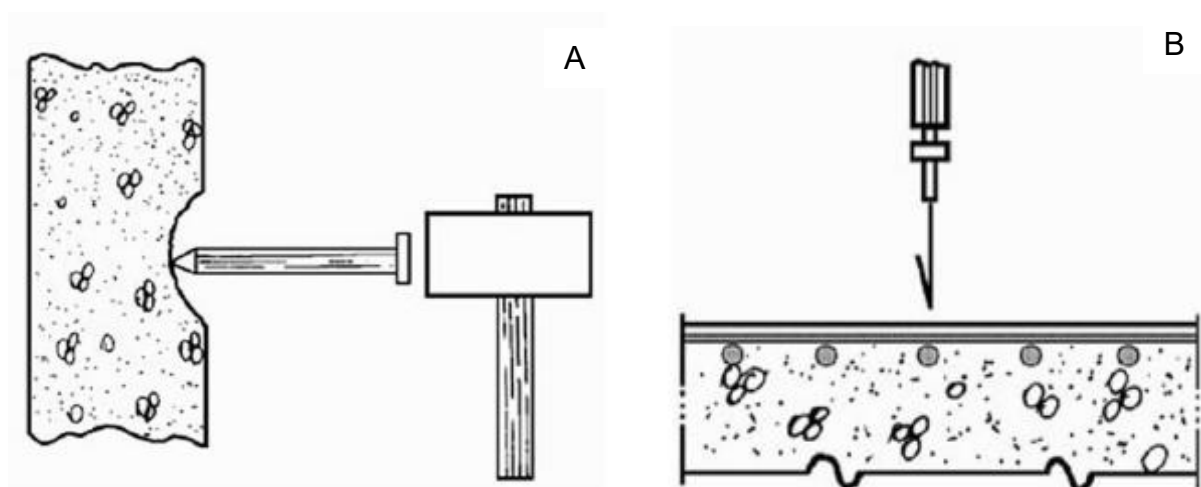
Segundo Souza (1998) o corte do concreto serve para delimitar a área a ser reparada. A estrutura remanescente deve ser preservada. Deve ser feita a correta demarcação da linha de corte, para que não ocorra comprometimento na estrutura, e outras danificações. A definição das áreas é baseada por análise detalhada da estrutura, deve ser considerado o grau de deterioração do concreto e as condições dos elementos existentes.

O concreto protege a armadura, mas quando o aço já está em processo de deterioração e não tem mais funcionalidade. É feito a desobstrução do caminho até as barras de aço da estrutura, onde o concreto degradado é retirado. Após a remoção do concreto deteriorado, é feita a preparação da superfície. Ocorre o apicoamento e

remoção de partícula que possa estar adicionada ao substrato. É umedecido desse substrato, nos casos em que os concretos não apresentam alta resistência à compressão, para ajudar na ponte de aderência (HELENE, 1992).

O apicoamento de acordo com Souza e Ripper (1998), pode ser um processo mecânico ou manual. A escolha do tipo de processo a ser utilizado irá depender da dureza da superfície que será efetuado o apicoamento.

Imagem 15 – Apicoamento



Fonte: Souza e Ripper (1998).

Sobre o apicoamento manual mostrada na Imagem 16 (a), Lapa (2008, p. 47) explica que: o apicoamento manual é restrito a pequenas extensões devido à sua execução frequentemente irregular. Para áreas maiores, o autor recomenda o uso de ferramentas elétricas, com o intuito de obter uma superfície rugosa que garanta a aderência necessária para materiais de reparo como argamassas, concreto projetado ou aditivado.

2.11.3 Limpeza

Helene (1992), afirma que a fase de preparação e limpeza do substrato é responsável por pelo menos 50% do sucesso de uma recuperação ou reforço. Por melhor e mais adequados que sejam os materiais usados na recomposição, de nada adiantará se não forem tomados cuidados nesta fase.

A ausência dos cuidados nessa fase compromete significativamente a recuperação, que pode ocasionar falhas prematuras. As intervenções em estruturas de concreto são diretamente relacionadas na fase inicial de preparação e limpeza, que é determinante para a durabilidade, segurança e desempenho da solução adotada.

2.11.4 Passivação do aço

A princípio, as armaduras inseridas em elementos estruturais estão protegidas e passivadas contra a corrosão. Essa proteção é entendida como uma barreira física devido ao cobrimento do concreto, que atua contra o ingresso de agentes externos, e principalmente pela proteção química em razão da alta alcalinidade do concreto. A perda ou ruptura dessa proteção pode provocar um processo de deterioração de forma progressiva e autoacelerante, ainda que localizada (HELENE, 2014).

2.11.5 Ponte de aderência

A aderência entre o concreto do substrato e o reparo depende de características comuns entre ambos, entre elas o módulo de elasticidade e o coeficiente de dilatação térmica. Quando solicitados ou por esforços mecânicos ou por variação da temperatura ambiente, reparos que não possuem valores similares dessas propriedades em relação ao concreto do substrato provocam um acúmulo de tensões na zona de contacto entre ambos, possibilitando possíveis falhas dos sistemas de reparo (MAILVAGANAM, 2004).

Em termos práticos, a ponte de aderência é um elemento de ligação que garante a transferência de esforços entre o concreto antigo e o novo material de reparo, se esses materiais possuírem comportamentos diferentes, surgirão falhas no reparo.

2.11.6 Recobrimento

Segundo Saraiva (2015), a argamassa é indicada para reparos superficiais de qualquer extensão e pequenas profundidades em elementos de concreto, especialmente quando há deterioração da camada de cobrimento das armaduras, falhas na concretagem e necessidade da regularização da superfície da laje. A

argamassa a ser utilizada irá depender da deterioração ocorrida, da qualidade final desejada e no custo, garantindo a compatibilidade entre o material de reparo e o concreto existente.

Nesse sentido Helene (1992), apresenta uma classificação das argamassas quanto ao Reparo (Quadro 8), aplicação e profundidade do sistema de reparo.

Quadro 8 – Classificação das argamassas de reparo

Tipo de Argamassas	Classificação			
	Quanto ao preparo	Quanto à aplicação	Quanto à profundidade	Quanto às propriedades
Base cimento	Tradicional	Manual	Superficial	Aderência / Retração
Modificada com polímeros	Industrializada	Manual / Projetada	Superficial	Boa aderência / Baixa permeabilidade / Resistência à compressão / Resistência à flexão
Argamassa e Graute base epóxi	Industrializada	Manual / Projetada	Superficial	Boa aderência / Baixa permeabilidade
Graute base cimento (Microconcreto)	Tradicional / Industrializada	Manual	Profundo	Boa aderência / Resistência à compressão / Retração
Argamassa base poliéster	Industrializada	Manual	Superficial	Boa aderência / Baixa permeabilidade
Argamassa sem retração	Tradicional	Manual	Profundo	Retração compensada / Altas resistências iniciais

Fonte: HELENE, (1992).

A classificação apresentada por Helene (1992), evidencia a diversidade de argamassas disponíveis para reparos em concreto, permitindo a utilização adequada conforme as características da patologia observada. No contexto do terminal hidrovial do município de Itaituba, que se encontra em um ambiente agressivo, é recomendado a utilização de argamassas modificadas com polímeros devido à sua comprovada impermeabilização e durabilidade em áreas úmidas.

De forma geral, os polímeros são utilizados em argamassas e concretos com o intuito de modificar algumas de suas propriedades, como retenção de água, permeabilidade, absorção de água, adesividade, deformabilidade, trabalhabilidade, resistência química, e resistências mecânicas. Estas modificações ocorrem devido à interação desenvolvida entre os polímeros e o cimento durante todo o processo de hidratação, a qual depende diretamente do tipo de polímero utilizado, uma vez que existem diferentes mecanismos de ação na fase aquosa e distintos processos de polimerização (LAVELLE, 1988).

Para casos em que precisa de uma rapidez de desforma e de utilização da estrutura é eficaz a utilização segundo Sousa e Ripper (2009, pg. 142):

O grout de base mineral ou de base epóxi é uma argamassa de grande fluidez, alta resistência, não apresenta retração, é auto-adensável e deve ser utilizado para reparos profundos e semiprofundos. A superfície que vai receber o grout deve ser preparada a úmido. Como o grout atinge altas resistências rapidamente, as fôrmas podem ser sempre retiradas em 24 horas e o excesso de grout pode ser retirado como descrito para o concreto com adesivo epóxi. A cura deve ser úmida, por pelo menos 3 dias.

2.11.7 Cura do concreto

A cura do concreto tem como função principal garantir que as reações de hidratação do cimento sejam processadas, além de contribuir com a manutenção da temperatura na massa (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

A manutenção da umidade durante o período impede a evaporação prematura da água necessária às reações químicas. O controle da temperatura na massa de concreto reduz o risco de fissuração térmica, a cura adequada contribui para o ganho de resistência mecânica e a redução da porosidade e assim sendo uma etapa fundamental para garantir o desempenho e a vida útil da estrutura.

Segundo Allen e Iano (2013), o concreto após ser lançado nas fôrmas está livre da perda de água na maior parte de sua superfície pela forma, porém sua superfície superior deve ser mantida úmida devendo utilizar borrifos de água ou barreiras físicas para impedir a secagem prematura, um risco particular crítico em lajes.

2.11.8 Desenforma

As fôrmas segundo a NBR 15696:2009 item 3.1 são:

[...] estruturas provisórias utilizadas para moldar o concreto fresco, resistindo a todas as ações provenientes das cargas variáveis resultantes das pressões do lançamento do concreto fresco até que o concreto se torne autoportante.

A desenforma é o ato de remover as fôrmas de concreto após atingir à resistência suficiente para suportar o seu próprio peso e as cargas de serviços sem desenformar ou romper. Por serem provisórias, são projetadas para considerar resistência, rigidez e segurança, garantindo estabilidade durante toda a fase de concretagem e assim evitando deformações ou falhas na estrutura.

3 METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa caracteriza-se como exploratória e descritiva, adotando uma abordagem qualitativa-quantitativa para aprofundar o entendimento sobre as manifestações patológicas observadas na estrutura do Terminal Hidroviário Municipal Dr. Almir Gabriel, em Itaituba/PA. O objetivo primordial foi realizar um diagnóstico detalhado dessas anomalias, buscando identificar suas causas, classificar sua gravidade e hierarquizar as prioridades para futuras intervenções.

A metodologia científica dispõe de diferentes abordagens conforme a finalidade do estudo. Segundo Guerra (2023), a pesquisa exploratória tem como o objetivo proporcionar maior clareza ao problema e formular hipóteses, enquanto a descritiva dedica-se em investigar as conexões de causa e efeito entre os fenômenos analisados.

Ademais, para otimizar o desenvolvimento do trabalho, adotou-se a abordagem qualiquantitativa. Conforme destacam Rodrigues et al. (2021), a integração dessas vertentes permite uma análise mais reflexiva por parte do pesquisador, possibilitando correlacionar experiências práticas à fundamentação teórica. No presente estudo, essa correlação manifesta-se na associação entre o mapeamento visual das patologias e a posterior aplicação de critérios numéricos de priorização e cálculos de perda de seção.

O desenvolvimento da pesquisa ocorreu inicialmente por meio de uma revisão bibliográfica, direcionada a consolidar o referencial teórico sobre patologias na construção civil, com base em trabalhos específicos sobre deterioração em concreto armado, análise das causas e técnicas de diagnóstico. Esse embasamento teórico foi essencial para que a inspeção no campo fosse orientada de maneira técnica e criteriosa.

3.2 COLETA DE DADOS

As atividades de campo foram realizadas no período entre agosto e outubro de 2025, período em que o acompanhamento das condições ambientais locais contribuiria para uma avaliação mais realista dos efeitos da umidade, fluxo hídrico e variações térmicas sobre a estrutura. Contudo, o período apresentou limitação quanto à secagem prevista para o período, alguns elementos permaneceram submersos, dificultando uma análise mais detalhada.

Quanto ao objeto do estudo, foi a própria estrutura do terminal hidroviário, situada em Itaituba, cidade localizada no estado do Pará, conforme mostra na Imagem 17.

Imagem 16– Visão superior do Terminal Hidroviário de Itaituba/PA



Fonte: Google Earth (2025).

O empreendimento encontra-se georreferenciado sob as coordenadas geográficas 4°16'32.1"S e 55°58'55.9"W, conforme ilustrado na Imagem 17 a edificação está posicionada na margem direita do Rio Tapajós, integrando a infraestrutura de transporte hidroviário da região sudoeste paraense.

Diante da indisponibilidade de projetos técnicos originais da estrutura, foi necessário realizar um levantamento técnico in loco. Este procedimento permitiu a reconstituição geométrica do terminal, resultando na elaboração da planta baixa desenvolvidos no software AutoCAD (Anexo A) do local dividida em áreas e seus

elementos. Para auxiliar na compreensão e proporcionar uma visualização mais realista do estado da obra, foi desenvolvida uma modelagem tridimensional no software SketchUp, com renderização final através do software Lumion.

A vistoria técnica foi realizada diretamente no terminal hidroviário, em que cada manifestação patológica visível foi identificada, registrada por meio de fotografias. Para garantir a organização e análise posterior dos dados coletados, utilizou-se uma tabela adaptada do modelo de Espíndola (2021), que permitiu caracterizar cada manifestação patológica quanto à localização exata, descrição visual, possível causa e impacto na integridade estrutural.

Além disso, para proporcionar uma avaliação objetiva dos problemas encontrados, foi aplicada a Matriz GUT, que considera a Gravidade, Urgência e Tendência das patologias. Essa ferramenta possibilitou criar um ranking de prioridades para as ações corretivas e de manutenção que o terminal deverá receber futuramente. Na ausência de ensaios não destrutivos, a área de aço remanescente foi estimada via inspeção visual das armaduras expostas, adotando-se uma perda de diâmetro nominal de 20% a 25% para pilares devido à criticidade estrutural e severidade observada e de 15% para vigas e lajes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 INSPEÇÃO IN LOCO

Conforme ilustrado na Imagem 18 (P-01), evidencia-se um processo de delaminação (separação em camadas) e perda de seção da pasta cimentícia levando a armadura a exposição a intempéries ambientais externos como agentes causador da patologia e sua gravidade.

Imagem 17 – Delaminação de concreto em pilar (P-01)



Fonte: Damasceno e Marques (2025).

A análise complementar agrupou as manifestações patológicas por mecanismos agressivos destacando a desagregação do concreto com destacamento de fragmentos do concreto e da armadura. Há variações de textura entre faixas mostrando que a intervenção que possivelmente foi feita foi inadequada. Conforme o Quadro 9, esses danos apontaram um risco alto e necessitam de uma reconstituição da seção do pilar com material de reparo.

Quadro 9 – Análise das patologias encontradas (P-01)

IDENTIFICAÇÃO PATOLOGIA E LOCAL	
Local:	Terminal hidroviário de Itaituba – antigo trapiche
Manifestação:	Desagregação de concreto de cobrimento e delaminação de camada de reparo preexistente, com exposição de armaduras corroídas.
Classificação do problema	Patologia estrutural
Possíveis causas	Abrasão pela ação da água; incompatibilidade mecânica entre o substrato e a argamassa de reparo; Cobrimento insuficiente.
Intervenção:	Delimitar área, reforço estrutural; Proteção contra corrosão; Manutenção preventiva
Risco:	Alto

Fonte: Adaptado Espindola e Bruna *et al.* (2021).

O pilar de concreto armado localizado na zona de variação de maré (P-02) apresentada na Imagem 19 mostra um deslocamento e desprendimento da camada superficial de material de proteção/revestimento. Este fenômeno pode ocorrer devido à incompatibilidade física ou química entre os materiais, à ação de agentes agressivos presentes no ambiente portuário.

Imagem 18 – Deslocamento de material em pilar (P-02)



Fonte: Damasceno e Marques (2025).

A análise complementar agrupou as manifestações patológicas por mecanismos agressivos destacando o deslocamento e desprendimento de camada.

Conforme o Quadro 10, esses danos apontaram um risco alto e necessitam de uma remoção do material solto, limpeza da superfície, avaliação do estado do concreto.

Quadro 10 – Análise das patologias encontradas (P-02).

IDENTIFICAÇÃO PATOLOGIA E LOCAL	
Local:	Terminal hidroviário de Itaituba – antigo trapiche
Manifestação:	Desplacamento e desprendimento de camada superficial de material de revestimento/proteção.
Classificação do problema	Patologia de Execução
Possíveis causas	Perda de aderência entre materiais, ação de agentes agressivos externos, variação térmica e recobrimento insuficiente de armadura.
Intervenção:	Delimitar área; Proteção contra corrosão das armaduras; Manutenção preventiva
Risco:	Alto

Fonte: Adaptado Espindola e Bruna *et al.* (2021).

A Imagem 20 do Pilar P-03 evidencia uma fissura vertical no encontro entre viga e pilar, com abertura acentuada ao longo do eixo do pilar. Configura-se como uma patologia estrutural e deve ser tratada como prioridade, combinando reparo do concreto e reforço do nó viga–pilar para restabelecer a continuidade estrutural e prevenir progressão da deterioração.

Imagem 19 – Delaminação no encontro direto Viga - pilar (P-03)



Fonte: Damasceno e Marques (2025).

A análise complementar agrupou as manifestações patológicas por mecanismos agressivos destacando delaminação no encontro direto laje - pilar, com separação na interface e fissura longitudinal. Conforme o quadro 11, esses danos apontaram um risco alto causados pela concretagem da laje sobre pilar com vibração inadequada e falha no projeto.

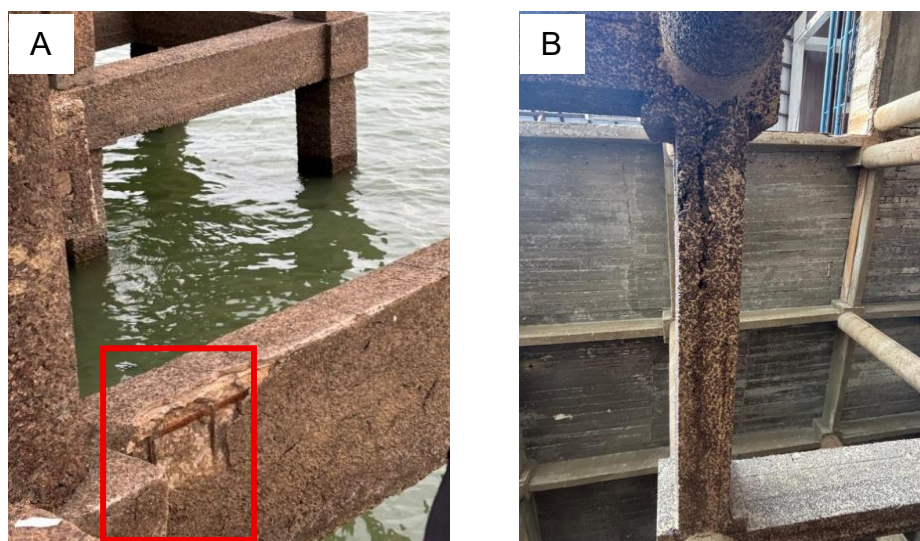
Quadro 11 – Análise das patologias encontradas (P-03)

IDENTIFICAÇÃO PATOLOGIA E LOCAL	
Local:	Terminal hidroviário de Itaituba – antigo trapiche
Manifestação:	Delaminação no encontro direto laje - pilar, com separação na interface e fissura longitudinal.
Classificação do problema	Patologia Estrutural
Possíveis causas	Concretagem da laje sobre pilar com vibração inadequada; falha no projeto e o ambiente agressivo ocasionando expansão e delaminação do elemento.
Intervenção:	Intervenção na região de ligação entre pilar e viga; Reforço estrutural;
Risco:	Alto

Fonte: Adaptado Espindola, Bruna *et al.* (2021).

Segundo Gentil (2012), a armadura será passível de corrosão somente quando houver deterioração ou contaminação dos constituintes de concreto. Quanto mais o concreto estiver preservado, mais protegida estará a armadura, pois o concreto inibe a corrosão metálica e protege contra a entrada de agentes contaminantes. A Imagem 21 a e b (P-04) mostra trechos de viga de concreto armado, apresentando exposição clara de armadura longitudinal com sinais evidentes de corrosão avançada.

Imagem 20 – Sinais de corrosão e exposição de armadura em viga (P-04)



Fonte: Damasceno e Marques (2025).

A análise complementar agrupou as manifestações patológicas por mecanismos agressivos destacando exposição parcial da armadura com sinais de corrosão. Conforme o Quadro 12, esses danos apontaram um risco alto e necessitam de um escoramento emergencial da estrutura, remoção completa do concreto deteriorado, tratamento anticorrosivo da armadura.

Quadro 12 – Análise das patologias encontradas (P-04).

IDENTIFICAÇÃO PATOLOGIA E LOCAL	
Local:	Terminal hidroviário de Itaituba – antigo trapiche
Manifestação:	Exposição parcial da armadura com sinais de corrosão avançada e perda do cobrimento de concreto.
Classificação do problema	Patologia Estrutural
Possíveis causas	Cobrimento insuficiente ou inadequado, exposição prolongada a ambiente extremamente agressivo externos.
Intervenção:	Reforço estrutural da viga; Tratamento corrosão das armaduras; Manutenção preventiva
Risco:	Alto

Fonte: Adaptado Espindola e Bruna *et al.* (2021).

A imagem 22 (P-05) evidencia uma rachadura na face exterior entre viga e pilar da passarela superior, que se configura como uma patologia estrutural.

Imagem 21 – Rachadura em face exterior entre viga e pilar (P-05)



Fonte: Damasceno e Marques (2025).

A análise complementar agrupou as manifestações patológicas por mecanismos agressivos destacando patologia estrutural. Conforme o Quadro 13, a possível causa para este dano seria por conta de sobrecarga de serviço esses danos apontaram um risco alto e necessitam de um escoramento local e reforço da estrutural.

Quadro 13 – Análise das patologias encontradas (P-05).

IDENTIFICAÇÃO PATOLOGIA E LOCAL	
Local:	Terminal hidroviário de Itaituba – antigo trapiche
Manifestação:	Patologia de estrutural
Classificação do problema	Estrutural / Execução
Possíveis causas	Sobrecarga de serviço; momento fletor excessivo; apoio irregular.
Intervenção:	Reforço estrutural; Manutenção preventiva
Risco:	Alto

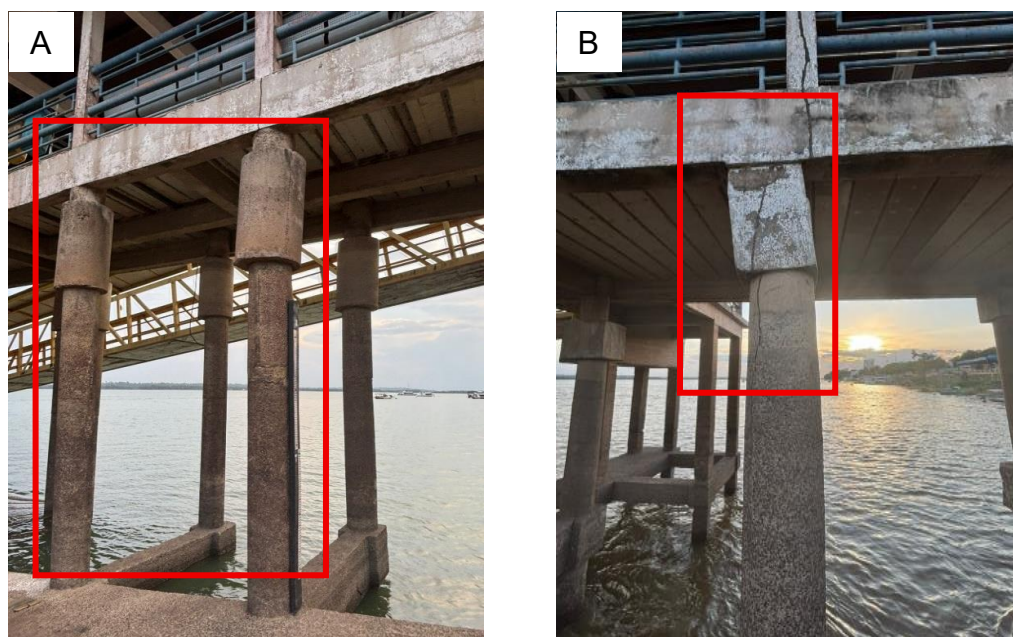
Fonte: Adaptado Espindola e Bruna *et al.* (2021).

A excentricidade em pilares é uma condição patológica grave que introduz esforços não previstos no dimensionamento original da estrutura. Conforme Carvalho e Pinheiro (2009), a distância entre o centro geométrico do pilar e o ponto de aplicação da força normal é chamada de excentricidade e deve ser rigorosamente controlada.

De acordo com Araújo (2013), a rigidez da ligação entre a viga e pilar é alterada quando a excentricidade da viga em relação ao eixo do pilar é modificada. Este fato implica alterações na rigidez de toda a estrutura e, conseqüentemente, alterações na estabilidade da edificação, quanto menos rígida a ligação, menos rígida a estrutura e mais instável a edificação.

A situação observada na Imagem 23 (P-06) pode ter origem em uma excentricidade acidental, decorrente de desvios durante a construção, ou uma excentricidade de forma, causada pela não coincidência entre os eixos dos elementos estruturais.

Imagem 22 – Desvio visível em pilares em relação ao eixo vertical (P-06)



Fonte: Damasceno e Marques (2025).

A análise complementar agrupou o seguinte problema ocasionada pelo desalinhamento aparente entre o eixo do pilar e o eixo da viga. Conforme o Quadro 14, esses danos apontaram um risco médio/alto e necessitam de uma análise estrutural detalhada para quantificar a excentricidade e seus efeitos.

Quadro 14 – Análise das patologias encontradas (P-06).

IDENTIFICAÇÃO PATOLOGIA E LOCAL	
Local:	Terminal hidroviário de Itaituba – antigo trapiche
Manifestação:	Desalinhamento aparente entre o eixo do pilar e o eixo da viga, configurando possível excentricidade de carga
Classificação do problema	Patologia Estrutural
Possíveis causas	Erro de posicionamento das fôrmas durante a concretagem; erro de locação do pilar no projeto ou na execução
Intervenção:	Reabilitação estrutural; Adequação do pilar; Manutenção periódica
Risco:	Médio/Alto

Fonte: Adaptado Espindola, Bruna *et al.* (2021).

A situação observada na Imagem 24 (P-07) pode ter origem do recobrimento insuficiente e porosidade elevada, que se configura como patologia estrutural.

Imagem 23 – Patologia submersa entre laje e pilar (P-07)



Fonte: Damasceno e Marques (2025).

A análise complementar agrupou as manifestações patológicas ocasionadas pelo desgaste e desagregação superficial do concreto submerso. Conforme o Quadro 15, esses danos apontaram um risco médio/alto e necessitam da remoção de concreto solto, limpeza, tratamento da armadura, reconstituição do cobrimento.

Quadro 15 – Análise das patologias encontradas (P-07).

IDENTIFICAÇÃO PATOLOGIA E LOCAL	
Local:	Terminal hidroviário de Itaituba – antigo trapiche
Manifestação:	Desgaste e desagregação superficial do concreto submerso.
Classificação do problema	Patologia Estrutural
Possíveis causas	Recobrimento insuficiente e porosidade elevada; Ação de agentes agressivos externos.
Intervenção:	Remoção de concreto solto, limpeza, tratamento da armadura, reconstituição do cobrimento com argamassa especial e aplicação de sistema protetivo para ambiente marinho.
Risco:	Médio/Alto

Fonte: Adaptado Espindola e Bruna *et al.* (2021).

A Imagem 25 apresenta o pilar P-08, na zona de maré, com deslocamento e desagregação do concreto formando cavidades. Trata-se de degradação típica de ambiente marinho, causada pela combinação de cloretos e abrasão, indicando evolução de perda de cobrimento e necessidade de reparo e proteção.

Imagem 24 – Desagregação de pilar (P-08)



Fonte: Damasceno e Marques (2025).

A análise complementar agrupou as manifestações patológicas ocasionadas pelo deslocamento e desagregação do cobrimento com cavidades. Conforme o Quadro 16, esses danos apontaram um risco médio/alto e necessitam da remoção de concreto solto, recompor cobrimento, aplicar barreira protetiva.

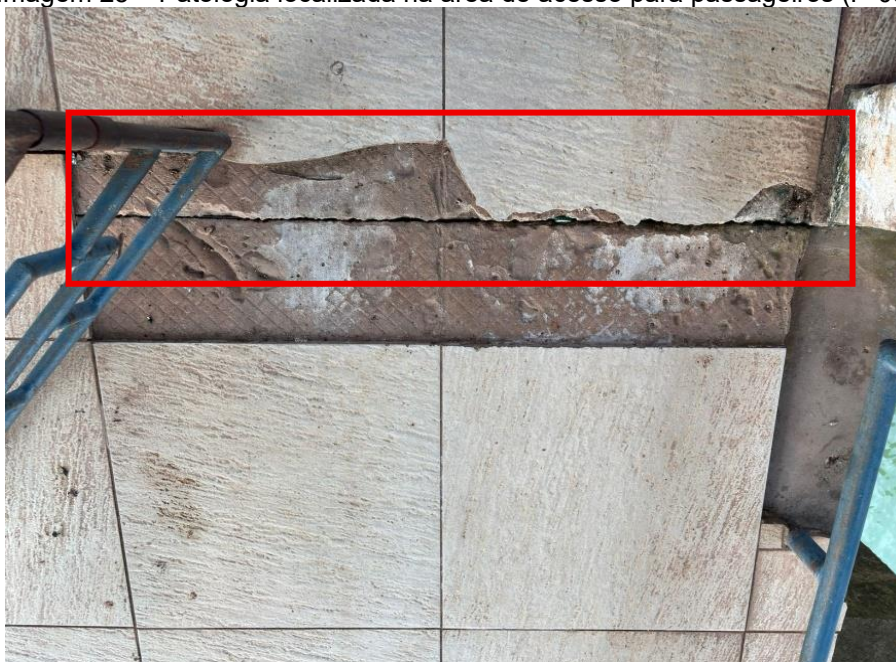
Quadro 16 – Análise das patologias encontradas (P-08).

Identificação patologia e local	
Local:	Terminal hidroviário de Itaituba – antigo trapiche
Manifestação:	Desplacamento e desagregação do cobrimento com cavidades na zona de maré, indicando perda de material e início de exposição potencial da armadura.
Classificação do problema	Execução
Possíveis causas	Ação contínua de água do rio e cloretos; Recobrimento menor que o necessário para o ambiente agressivo; Retração/fluência e cura deficiente favorecendo fissuras.
Intervenção:	Remover material solto e limpar, recompor cobrimento; Reforço estrutural; Manutenção preventiva.
Risco:	Médio/Alto

Fonte: Adaptado Espindola e Bruna *et al.* (2021).

A Imagem 26 apresenta a laje de passagem P-09 com deslocamento do revestimento e fissuras superficiais ao longo da junta. A manifestação indica patologia de execução e exposição ao ambiente.

Imagem 25 – Patologia localizada na área de acesso para passageiros (P-09)



Fonte: Damasceno e Marques (2025).

A análise complementar agrupou as manifestações patológicas ocasionadas pela ruptura da junta de dilatação. Conforme o Quadro 17, esses danos apontaram um risco alto e necessitam da remoção de todo o material deteriorado, recomposição das bordas da junta com argamassa estrutural.

Quadro 17 – Análise das patologias encontradas (P-09).

Identificação patologia e local	
Local:	Terminal hidroviário de Itaituba – antigo trapiche
Manifestação:	Ruptura da junta de dilatação com fratura do concreto nas bordas e deslocamento do revestimento.
Classificação do problema	Patologia estrutural
Possíveis causas	Execução incorreta da junta, degradação do selante, ou movimentação excessiva da estrutura não absorvida pela junta.
Intervenção:	Remoção de todo o material deteriorado, recomposição das bordas da junta com argamassa estrutural.
Risco:	Alto

Fonte: Adaptado Espindola e Bruna *et al.* (2021).

A Imagem 27 a seguir P-10 ilustra um pilar submerso apresentando um estágio avançado de deterioração. Observa-se o desgaste severo do concreto e a exposição da armadura com corrosão ativa. Esta condição representa um risco estrutural crítico e exige uma intervenção de reparo urgente para garantir a integridade e a segurança do elemento.

Imagem 26 – Deslocamento do concreto de pilar (P-10)



Fonte: Damasceno e Marques (2025).

A análise complementar agrupou as manifestações patológicas ocasionadas pelo deslocamento do concreto, com cavidade profunda e exposição da armadura. Conforme o Quadro 18, esses danos apontaram um risco alto e necessitam da remoção completa do concreto deteriorado ao redor da área afetada; limpeza total da armadura para remover a ferrugem.

Quadro 18 – Análise das patologias encontradas (P-10).

IDENTIFICAÇÃO PATOLOGIA E LOCAL	
Local:	Terminal hidroviário de Itaituba – antigo trapiche
Manifestação:	Deslocamento do concreto, com cavidade profunda e exposição da armadura, que apresenta sinais visíveis de corrosão ocasionado por agentes externos
Classificação do problema	Patologia estrutural
Possíveis causas	A causa principal é o cobrimento insuficiente e baixa qualidade do concreto que facilitam a penetração de íons cloreto, presentes na água, através da porosidade do concreto.
Intervenção:	Realizar reforço estrutural; adequação do pilar; Manutenção preventiva
Risco:	Alto

Fonte: Adaptado Espindola, Bruna *et al.* (2021).

A Imagem 28 a seguir ilustra a patologia mais grave identificada na estrutura: a falha da junta de dilatação na viga P-11, que por sua vez está apoiada sobre pilares

excêntricos e já comprometidos por outras patologias. Essa combinação de problemas em conjunto compromete todo o sistema de sustentação da laje em balanço, representando um risco estrutural crítico que demanda uma ação emergencial imediata, como o escoramento e a interdição da área.

Imagem 27 – Patologia localizada em viga da laje do trapiche (P-11)



Fonte: Damasceno e Marques (2025).

A análise complementar agrupou as manifestações patológicas ocasionadas pela ruptura da junta da viga, sobrecarregando pilares já enfraquecidos. Conforme o Quadro 19, esses danos apontaram um risco alto e necessitam de isolamento e interdição imediata da área abaixo e sobre o trecho afetado, além disso o escoramento de emergência da viga.

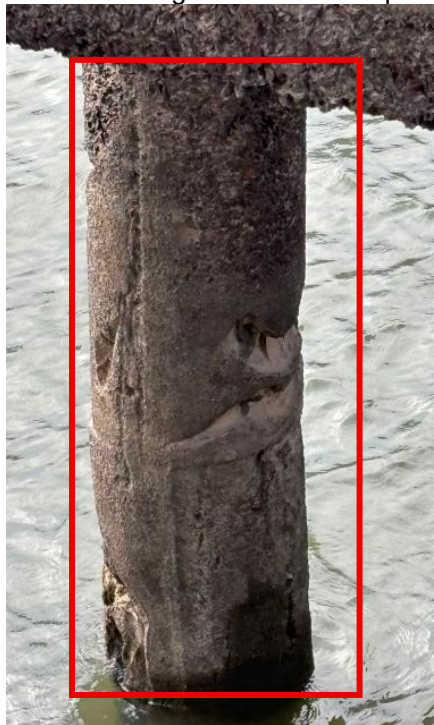
Quadro 19 – Análise das patologias encontradas (P-11).

IDENTIFICAÇÃO PATOLOGIA E LOCAL	
Local:	Terminal hidroviário de Itaituba – antigo trapiche
Manifestação:	Falha sistêmica: ruptura da junta da viga, sobrecarregando pilares já enfraquecidos pela excentricidade e pela perda de seção devido à corrosão; manchas ocasionadas pela umidade
Classificação do problema	Patologia estrutural
Possíveis causas	Movimentações térmicas ou mecânicas da estrutura que não foram adequadamente absorvidas pela junta, seja por erro de projeto, execução inadequada.
Intervenção:	Reabilitação estrutural nas lajes e vigas; Manutenção periódica
Risco:	Alto

Fonte: Adaptado Espindola, Bruna *et al.* (2021).

A Imagem 29 apresenta a viga P-12 com dano localizado junto à borda inferior, compatível com falha de ancoragem da armadura/aderência do concreto.

Imagem 28 – Patologia localizada em pilar (P-12)



Fonte: Damasceno e Marques (2025).

A análise complementar agrupou as manifestações patológicas ocasionadas pelo deslocamento e desagregação do concreto com esmagamento visível da seção. Conforme o Quadro 20, esses danos apontaram um risco alto e necessitam de diagnóstico (esclerometria, carbonatação), remoção de concreto deteriorado e limpeza/proteção armadura.

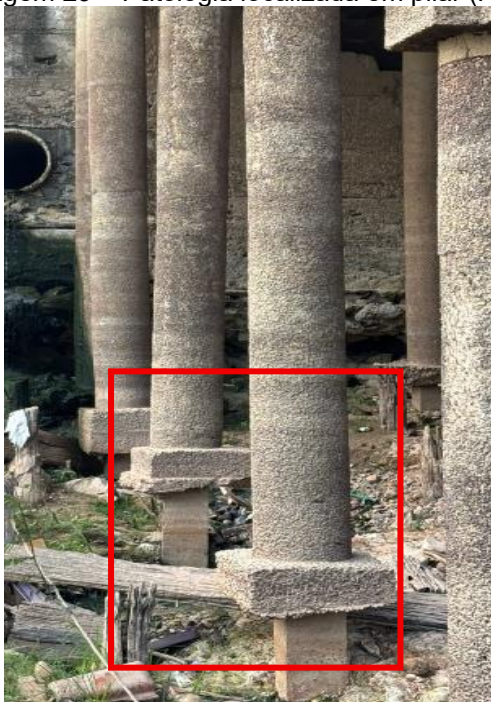
Quadro 20 – Análise das patologias encontradas (P-12).

IDENTIFICAÇÃO PATOLOGIA E LOCAL	
Local:	Terminal hidroviário de Itaituba – antigo trapiche
Manifestação:	Deslocamento e desagregação do concreto com esmagamento visível da seção; exposição da armadura com sinais de corrosão (ferrugem); cavidades profundas indicando falha estrutural
Classificação do problema	Patologia Estrutural
Possíveis causas	Expansão de óxido de Fe (2-6x) gerando pressão radial; Sobrecarga com perda de seção; concreto de baixa qualidade; Cloretos da água despassivam armadura; Ciclos molhagem/secagem; Carbonatação enfraquece matriz
Intervenção:	Reforço estrutural e reparação do concreto; Adequação do pilar; Manutenção preventiva
Risco:	Alto

Fonte: Adaptado Espindola e Bruna *et al.* (2021).

A Imagem 30 documenta o estado de deterioração provocado pela ação hidráulica contínua, evidenciando desagregação superficial do concreto em múltiplas camadas, formação de cavidades e sulcos resultantes da abrasão causada por particulados em suspensão e pela pressão dinâmica da água.

Imagem 29 – Patologia localizada em pilar (P-13)



Fonte: Damasceno e Marques (2025).

A análise complementar agrupou as manifestações patológicas ocasionadas pela desagregação progressiva do concreto; cavidades e sulcos na superfície. Conforme o Quadro 21, esses danos apontaram um risco alto e necessitam de diagnóstico como mapeamento de profundidade e velocidade de escoamento, além de necessitar de uma proteção superficial.

Quadro 21 – Análise das patologias encontradas (P-13).

IDENTIFICAÇÃO PATOLOGIA E LOCAL	
Local:	Terminal hidroviário de Itaituba – antigo trapiche
Manifestação:	Desagregação progressiva do concreto; cavidades e sulcos na superfície; perda de cobertura; exposição de agregados.
Classificação do problema	Patologia mecânica
Possíveis causas	Pressão dinâmica do escoamento; abrasão por particulados (areia/sedimentos); cavitação; turbulência; concreto baixa resistência; falta de proteção superficial
Intervenção:	Mapeamento de profundidade, velocidade de escoamento; Manutenção periódica
Risco:	Alto

Fonte: Adaptado Espindola e Bruna *et al.* (2021).

A Imagem 31 mostra o estado de um pilar com exposição das armaduras em fitas verticais regulares, demarcando as posições das barras de aço.

Imagem 30 – Patologia localizada em pilar (P-14)



Fonte: Damasceno e Marques (2025).

A análise complementar agrupou as manifestações patológicas ocasionadas pela exposição parcial da armadura. Conforme o Quadro 22, esses danos apontaram um risco alto e necessitam de diagnóstico como mapeamento de profundidade e velocidade de escoamento, além de necessitar de limpeza de armadura a partir da remoção de ferrugem por escovamento/jato de areia, proteção, aplicação de primer anticorrosivo, encamisamento com concreto

Quadro 22 – Análise das patologias encontradas (P-14).

IDENTIFICAÇÃO PATOLOGIA E LOCAL	
Local:	Terminal hidroviário de Itaituba – antigo trapiche
Manifestação:	Exposição parcial da armadura em fitas verticais regulares; concreto deteriorado/removido entre as barras; desprendimento de cobertura; depressões profundas marcando posição das barras
Classificação do problema	Patologia estrutural
Possíveis causas	Cobrimento inadequado; corrosão progressiva com perda de concreto; deterioração preferencial nas zonas onde armadura está presente (concentração de oxidação); possível deficiência construtiva na compactação do concreto
Intervenção:	Avaliação de perda de seção das barras; Limpeza; Reforço estrutural; Tratamento da corrosão da armadura e adequação do pilar; Manutenção periódica
Risco:	Alto

Fonte: Adaptado Espindola, Bruna *et al.* (2021).

A Imagem 32 documenta a exposição de armaduras longitudinais e estribos e corrosão ativa além de fissuração em elementos como laje e viga do terminal hidroviário.

Imagem 31 – Patologia localizada em laje e vigas (P-15)



Fonte: Damasceno e Marques (2025).

A análise complementar agrupou as manifestações patológicas ocasionadas pelo cobrimento inadequado e penetração de cloretos. Conforme o Quadro 23, esses danos apontaram um risco alto e necessitam de interdição imediata da área, remoção total do concreto contaminado e proteção catódica das armaduras.

Quadro 23 – Análise de patologias encontradas (P-15).

IDENTIFICAÇÃO PATOLOGIA E LOCAL	
Local:	Terminal hidroviário de Itaituba – antigo trapiche
Manifestação:	Exposição de armaduras longitudinais e estribos + corrosão ativa; fissuração longitudinal; esfarelamento generalizado do cobrimento.
Classificação do problema	Patologia estrutural
Possíveis causas	Cobrimento insuficiente/destruído (exposição das armaduras); Penetração de cloretos do ambiente aquático (corrosão das armaduras).
Intervenção:	Avaliação da perda de seção das barras; Reabilitação estrutural; Proteção contra corrosão das armaduras; Manutenção periódica.
Risco:	Alto

Fonte: Adaptado Espindola, Bruna *et al.* (2021).

A Imagem 33 apresenta em viga localizada na rampa do terminal segregação ocasionadas pela falha de execução.

Imagem 32 – Patologia localizada em viga (P-16)



Fonte: Damasceno e Marques (2025).

A análise complementar agrupou as manifestações patológicas ocasionadas pela má vibração além de possuir escoras existentes. Conforme o Quadro 24, esses danos apontaram um risco médio/alto e necessitam de remoção, graute epóxi, impermeabilização no elemento estrutural.

Quadro 24 – Análise de patologias encontradas (P-16).

IDENTIFICAÇÃO PATOLOGIA E LOCAL	
Local:	Terminal hidroviário de Itaituba – antigo trapiche
Manifestação:	Segregação; falha de execução
Classificação do problema	Patologia de execução
Possíveis causas	Má vibração, escoras não removidas, umidade
Intervenção:	Limpeza da área; Reforço estrutural; Adequação da viga
Risco:	Médio/Alto

Fonte: Adaptado Espindola, Bruna *et al.* (2021).

Os levantamentos de campo confirmaram a severidade dos danos no terminal, permitindo a hierarquização das intervenções. Através dessa hierarquia, é possível direcionar para os pontos de maior risco, garantindo a eficiência das etapas de recuperação complexa.

4.2 MATRIZ DE GUT

A aplicação da Matriz GUT fundamentou a priorização das manifestações patológicas encontradas, permitindo classificar a gravidade dos problemas com base em critérios objetivos. O quadro 25 apresenta os parâmetros de pontuação utilizados para atribuir os valores de Gravidade (G), Urgência (U) e Tendência (T) a cada patologia identificada.

Quadro 25 – Demonstração da Matriz de Gut

Matriz GUT				
Pontos	G	U	T	G x U x T
	Gravidade	Urgência	Tendência	
	Consequências se nada for feito.	Prazo para tomada de decisão.	Proporção do problema no futuro.	
5	Os prejuízos ou dificuldades são extremamente graves.	É necessária uma ação imediata.	Se nada for feito, o agravamento da situação será imediato.	$5 \times 5 \times 5 = 125$
4	Muito Graves.	Com alguma urgência.	Vai piorar em curto prazo.	$4 \times 4 \times 4 = 64$
3	Graves.	O mais cedo possível.	Vai piorar em médio prazo.	$3 \times 3 \times 3 = 27$
2	Pouco Graves.	Pode esperar um pouco.	Vai piorar em longo prazo.	$2 \times 2 \times 2 = 8$
1	Sem Gravidade.	Não tem pressa.	Não vai piorar ou pode até melhorar.	$1 \times 1 \times 1 = 1$

Fonte: Daychoum (2012).

Com base nesses critérios, foi elaborada a hierarquização dos problemas diagnosticados no Terminal. O Quadro 26 demonstra a aplicação prática do método, ordenando as patologias da maior para a menor prioridade de intervenção.

Quadro 26 – Hierarquização Final pelo Método GUT

Posição	Nº	Manifestação Patológica	G	U	T	Pontuação (G×U×T)	Grau de Risco
1º	P11	Ruptura da junta da viga, sobrecarregando pilares já enfraquecidos; Manchas ocasionadas pela umidade.	5	5	5	125	Crítica
2º	P09	Ruptura da junta de dilatação com fratura do concreto nas bordas e deslocamento do revestimento).	5	5	5	125	Crítica
3º	P01	Desagregação localizada com destacamento de fragmentos do concreto e da armadura.	5	5	5	125	Crítico
4º	P03	Delaminação no encontro direto laje – pilar.	5	5	5	125	Crítico
5º	P05	Patologia de fissuração estrutural.	5	5	5	125	Crítico
6º	P15	Exposição de armaduras longitudinais e estribos + corrosão ativa; fissuração longitudinal; esfarelamento generalizado do cobrimento.	5	5	5	125	Crítico
16º	P10	Deslocamento do concreto, com cavidade profunda e exposição da armadura.	5	5	5	125	Crítico
7º	P06	Desalinhamento aparente entre o eixo do pilar e o eixo da viga.	5	5	4	100	Alto
8º	P14	Exposição parcial da armadura em fitas verticais regulares; concreto deteriorado/removido entre as barras.	5	4	5	100	Alto
9º	P13	Desagregação progressiva do concreto; cavidades e sulcos na superfície.	5	4	5	100	Alto
10º	P04	Exposição parcial da armadura com sinais de corrosão avançada e perda do cobrimento de concreto.	5	4	5	100	Alto
11º	P02	Deslocamento e desprendimento de camada superficial de material de revestimento/proteção.	5	4	5	100	Alto
12º	P12	Deslocamento e desagregação do concreto com esmagamento visível da seção.	5	4	5	100	Alto
13º	P07	Desgaste e desagregação superficial do concreto submerso.	4	4	5	80	Médio
14º	P08	Deslocamento e desagregação do cobrimento com cavidades na zona de maré.	4	4	5	80	Médio
15º	P16	Segregação e falha de execução.	4	4	5	80	Média

Fonte: Damasceno e Marques (2026).

Apartir do Quadro 26 foi possível notar a grande concentração de elementos onde há comprometimento com risco crítico e alto. Esta classificação permite direcionar na etapa de reconstrução, tratando primeiro as questões que representam risco iminente, seguidas daquelas que, embora menos urgentes, ainda possuem um alto potencial de risco caso não sejam solucionadas.

4.3 PROPOSTA DE RECUPERAÇÃO

O projeto de reconstrução elaborado propõe soluções focalizadas nos pontos mais críticos identificados *in loco*. A avaliação da degradação das armaduras expostas dos pilares, vigas e lajes foram realizadas utilizando a fórmula de cálculo de perda de seção transversal conforme apresentado no Quadro 27.

Quadro 27 – Fórmula utilizada para calcular a perda de seção

FUNDAMENTAÇÃO DO CÁLCULO	
AVALIAÇÃO DE ARMADURA EXPOSTA	$Perda(\%) = \frac{A_{s0} - A_{se}}{A_{s0}} \times 100$ $\varnothing_0 = \text{Diâmetro original da barra};$ $\varnothing_e = \text{Diâmetro atual após a corrosão}.$
FAIXA DE RECUPERAÇÃO	<10% - Recuperação Simples (tratamento localizado da armadura e recomposição do cobrimento).
	10% ≤ - Recuperação Complexa (reforço estrutural por encamisamento).

Fonte: Damasceno e Marques (2026).

O cálculo de perda de seção foi realizado por meio de medição direta da geometria remanescente dos elementos, seguindo os critérios de avaliação de danos estabelecidos na literatura técnica de patologia das estruturas e as diretrizes de intervenção da EN 1504-9.

4.3.1 Cálculo dos Pilares

Os quadros a seguir apresentam o cálculo de avaliação de armadura dos Pilares das áreas A1 a A4, cuja numeração está de acordo com o Anexo (A). Como alguns pilares as mesmas características, pode-se agrupá-las. Este estudo adotou a variação entre 20 a 25% como valor aproximado de perda de diâmetro com base na inspeção visual. A perda de seção foi calculada de acordo com o Quadro 27.

O quadro 28 apresenta o resultado do cálculo para a A1 enumerada de acordo com o Anexo (A) e os resultados para 20% correspondeu em uma perda de seção de 36%, já para 25% correspondeu à 43,76%.

Quadro 28 – Cálculo de Avaliação de Armadura Exposta dos Pilares A1

Pilar	$\varnothing_0$ (mm)	Perda de diâmetro (%)	$\varnothing_e$ (mm)	Perda de seção (%)	Classificação
P01 a P23 (A1)	8	20%	6,4	36%	Recuperação Complexa
P24 a P56 (A1)	8	25%	6,0	43,76%	Recuperação Complexa

Fonte: Damasceno e Marques (2026).

O quadro 29 apresenta o resultado do cálculo para a A2 a A4 enumerada de acordo com o Anexo (A) e os resultados para 25% correspondeu à 43,76%.

Quadro 29 – Cálculo de Avaliação de Armadura Exposta dos Pilares A2 a A4

Pilar	$\varnothing_0$ (mm)	Perda de diâmetro (%)	$\varnothing_e$ (mm)	Perda de seção (%)	Classificação
P57 a P72(A2)	8	25%	6,0	43,76%	Recuperação Complexa
P73 a P90 (A3)	8	25%	6,0	43,76%	Recuperação Complexa
P91 A P94 (A4)	8	25%	6,0	43,76%	Recuperação Complexa

Fonte: Damasceno e Marques (2026).

O quadro 30 apresentada o resultado do cálculo para a A5 enumerada de acordo com o Anexo (A) e os resultados para 25% correspondeu à 43,76%.

Quadro 30 – Cálculo de Avaliação de Armadura Exposta dos Pilares A5

Pilar	$\varnothing_0$ (mm)	Perda de diâmetro (%)	$\varnothing_e$ (mm)	Perda de seção (%)	Classificação
P95 a P128 (A5)	8	25%	6,0	43,76%	Recuperação Complexa

Fonte: Damasceno e Marques (2026).

O quadro 31 apresentada o resultado do cálculo para a A4 enumerada de acordo com o Anexo (A) e os resultados para 20% correspondeu à 36%.

Quadro 31 – Cálculo de Avaliação de Armadura Exposta dos Pilares A6

Pilar	$\varnothing_0$ (mm)	Perda de diâmetro (%)	$\varnothing_e$ (mm)	Perda de seção (%)	Classificação
P129 a P149 (A6)	8	20%	6,4	36%	Recuperação Complexa

Fonte: Damasceno e Marques (2026).

4.3.2 Cálculo das vigas

Os quadros a seguir apresenta os cálculos de avaliação de armadura das vigas, cuja numeração está de acordo com o Anexo (A). Como as vigas verticais e horizontais além das vigas de travamento dos pilares apresentaram as mesmas características, pode-se agrupá-las. Este estudo adotou 15% como valor aproximado de perda de diâmetro com base na inspeção visual. A perda de seção foi calculada de acordo com o Quadro 27.

O Quadro 32, demonstram os resultados obtidos através do cálculo apresentado no Quadro 27 para as vigas da área A1, enumeradas de acordo com o Anexo (A).

Quadro 32 – Cálculo de Avaliação de Armadura Exposta Das Vigas A1

VIGA (V – VERTICAL; H-HORIZONTAL)	Ø₀ (mm)	Perda de diâmetro (%)	Ø_e (mm)	Perda de seção (%)	Classificação
V 01 a V 06 (Horizontal)	10	15%	8,5	27,74%	Recuperação Complexa
V 07 a V 17 (Vertical)	10	15%	8,5	27,74%	Recuperação Complexa

Fonte: Damasceno e Marques (2026).

O Quadro 33, demonstram os resultados obtidos através do cálculo apresentado na Tabela 27 para as vigas de Travamento dos pilares da área A1, enumeradas de acordo com o Anexo (A).

Quadro 33 – Cálculo de Avaliação de Armadura Exposta Das Vigas de Travamento de Pilares A1

VIGA DE TRAVAMENTO	Ø₀ (mm)	Perda de diâmetro (%)	Ø_e (mm)	Perda de seção (%)	Classificação
V 18 V 24 (Horizontal)	10	15%	8,5	27,74%	Recuperação Complexa
V 25 a V 31 (Vertical)	10	15%	8,5	27,74%	Recuperação Complexa

Fonte: Damasceno e Marques (2026).

O Quadro 34, demonstram os resultados obtidos através do cálculo apresentado na tabela 27 para as vigas da área A2 a A4, enumeradas de acordo com o Anexo (A).

Quadro 34 – Cálculo de Avaliação de Armadura Exposta Das Vigas A2 a A4

VIGA (V – VERTICAL; H-HORIZONTAL)	Ø₀ (mm)	Perda de diâmetro (%)	Ø_e (mm)	Perda de seção (%)	Classificação
V 32 a V 50 (Horizontal)	10	15%	8,5	27,74%	Recuperação Complexa
V 51 a V 53 (Vertical)	10	15%	8,5	27,74%	Recuperação Complexa

Fonte: Damasceno e Marques (2026.)

O Quadro 35, demonstram os resultados obtidos através do cálculo apresentado no Quadro 27 para as vigas de travamento dos pilares da área A2 a A4, enumeradas de acordo com o Anexo (A).

Quadro 35 – Cálculo de Avaliação de Armadura Exposta Das Vigas de Travamento de Pilares A2 a A4

VIGA DE TRAVAMENTO	$\varnothing_0$ (mm)	Perda de diâmetro (%)	$\varnothing_e$ (mm)	Perda de seção (%)	Classificação
Viga 54 a 69 (Horizontal)	10	15%	8,5	27,74%	Recuperação Complexa

Fonte: Damasceno e Marques (2026).

No Quadro 36, demonstra os resultados obtidos através do cálculo apresentado no Quadro 27 para as vigas da área A5, enumeradas de acordo com o Anexo (A).

Quadro 36 – Cálculo de Avaliação de Armadura Exposta Das Vigas A5

VIGA (V – VERTICAL; H-HORIZONTAL)	$\varnothing_0$ (mm)	Perda de diâmetro (%)	$\varnothing_e$ (mm)	Perda de seção (%)	Classificação
V 70 a V 87 (Horizontal)	10	15%	8,5	27,74%	Recuperação Complexa
V 88 a V 90 (Horizontal)	10	15%	8,5	27,74%	Recuperação Complexa

Fonte: Damasceno e Marques (2026).

O Quadro 37, demonstram os resultados obtidos através do cálculo apresentado no Quadro 27 para as vigas da área A6, enumeradas de acordo com o Anexo (A).

Quadro 37 – Cálculo de Avaliação de Armadura Exposta Das Vigas A6

VIGA (V – VERTICAL; H-HORIZONTAL)	$\varnothing_0$ (mm)	Perda de diâmetro (%)	$\varnothing_e$ (mm)	Perda de seção (%)	Classificação
V 91 a V 95 (Horizontal)	10	15%	8,5	27,74%	Recuperação Complexa
V 96 a V 100 (Vertical)	10	15%	8,5	27,74%	Recuperação Complexa

Fonte: Damasceno e Marques (2026).

A recorrência de perdas de seção superiores a 20% nas tabelas de cálculo de avaliação da armadura evidência um quadro crítico, indicando que a vida útil da estrutura foi comprometida e que será necessária uma reabilitação profunda para garantir a segurança dos usuários do terminal.

4.3.3 Cálculo das Lajes

O Quadro 38 apresenta o cálculo de avaliação de armadura das lajes, cuja numeração está de acordo com o Anexo (A). Como as lajes L1, L2, L3, L4, L5 e L6 apresentaram as mesmas características, pode-se agrupá-las. Este estudo adotou 15% como valor aproximado de perda de diâmetro com base na inspeção visual. A perda de seção foi calculada de acordo com o Quadro 27 e correspondeu a 25%.

Quadro 38 – Cálculo de Avaliação de Armadura Exposta Das Lajes

Laje	Altura (m)	Perda de diâmetro (%)	Perda de seção (%)	Classificação
Laje 01 a 06	0,20	15%	25%	Recuperação Complexa

Fonte: Damasceno e Marques (2026).

A recorrência desse percentual (25%) em todas as lajes inspecionadas confirma que a agressividade do meio superou a capacidade de proteção do cobrimento, tornando a reabilitação estrutural uma etapa a ser feita urgentemente.

4.4 ANÁLISE GERAL

A análise integrada das inspeções *in loco*, cálculos de perda de seção e priorização GUT revela um quadro crítico de deterioração estrutural no Terminal Hidroviário Dr. Almir Gabriel, comprometendo pilares (A1-A6), vigas (A1 a A6) e Lajes (A1 a A6).

As patologias predominantes identificadas foram corrosão de armaduras com exposição, delaminação e textura rugosa generalizada que possibilitam a entrada de cloretos em tempos de cheia do rio. Os cálculos baseados na tabela 27, demonstraram resultados alarmantes em que houve a perda de seção >10% em todos os elementos da estrutura sinalizando um potencial comprometimento do estado Limite Último (ELU) mencionado no item 3.2.1 da NBR 6118:2023.

A matriz de GUT confirmou a gravidade, atribuindo classificação crítica e alta em vários componentes da estrutura. A convergência entre a inspeção, priorização a partir da metodologia GUT e o resultado do cálculo de perda de seção, sugere um

potencial risco estrutural que válida a adoção das seguintes fases durante a execução da recuperação:

- a) Delimitação e isolamento da área: Medida preliminar de segurança para proteção dos usuários do local;
- b) Implantação de escoramento provisório: Como os cálculos indicaram perda de seção > 10%, o escoramento é indispensável para aliviar as tensões de compressão nos pilares e vigas antes da remoção do concreto degradado;
- c) Remoção do concreto deteriorado e limpeza da armadura: Tem como objetivo eliminar a matriz cimentícia sem coesão e remover a de oxidação (ferrugem) do aço, garantindo a aderência do novo material de reparo;
- d) Passivação química das armaduras: Consiste na aplicação de pintura inibidora sobre o aço limpo para recompor a camada passivadora.
- e) Encamisamento Estrutural: Diferente de um reparo superficial, esta etapa é reservada para elementos onde a perda de área de aço e concreto comprometeu a capacidade de carga;
- f) Recomposição com graute ou argamassa polimérica: Tratamento para deslocamento e delaminação. O graute preenche os vazios internos, enquanto a argamassa polimérica, por sua baixa permeabilidade, veda a estrutura contra a entrada de cloretos e umidade do rio;
- g) Instalação de sistema de proteção catódica: Utilizada para proteger o aço de forma galvânica (ânodos de sacrifício), sendo essencial em áreas que sofrem ciclos constantes de maré e alta concentração de cloretos.
- h) Cura + Desenforma: Etapa final para controle de retração. Garante que o novo material atinja a resistência projetada sem fissurar precocemente.

Por fim, a adoção rigorosa desta sequência justifica-se pela identificação manifestações patológicas presentes, além de perceber as falhas em intervenções de recuperação executadas anteriormente no terminal, as quais apresentaram descolamento do material de reparo e cobrimento insuficiente. Portanto, a transição para um modelo de reforço estrutural por encamisamento, aliado à proteção catódica e ao controle de cura, é a única via tecnicamente viável para interromper o ciclo de deterioração e garantir a segurança operacional e a vida útil de projeto da infraestrutura.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho evidenciou a severa deterioração das estruturas do Terminal Hidroviário de Itaituba, decorrente da combinação de fatores ambientais agressivos e falhas construtivas. Os dados coletados a partir da análise de sensoriamento *in loco*, respaldados pelas normas técnicas vigentes, indicam que parte significativa da estrutura se encontra em condições que podem comprometer sua segurança, requerendo intervenções imediatas.

A análise sistemática atendeu plenamente ao objetivo geral do trabalho de investigar as manifestações patológicas presentes no terminal, bem como aos objetivos específicos de analisar as patologias por inspeção *in loco*, classificá-las e priorizá-las através da utilização da metodologia GUT, e diagnosticar suas causas considerando os fatores ambientais, construtivos e de manutenção.

As questões norteadoras foram respondidas de forma integrada, na qual foi possível identificar a partir do cálculo em que todos os casos, a perda de seção superou 10%, classificando todos os pilares, vigas e lajes como necessitando de recuperação complexa. Este resultado é crítico, pois indica que intervenções localizadas não serão suficientes. As causas desses problemas incluem exposição contínua ao rio Tapajós, cobrimento de armadura insuficiente e falta de reparos preventivos.

Tal resultado, se mostra crítico, pois indica que intervenções localizadas não serão suficientes. Logo, será necessário implementar reforço estrutural por encamisamento de concreto armado com armaduras com técnicas de escoramento adequadas e nova fundamentação de cálculo para os carregamentos previstos. As principais limitações do estudo decorrem da ausência de documentação técnica, como projetos estruturais, memoriais de cálculo, além das questões hidrológicas do rio Tapajós, que não apresentou a vazante esperada durante as inspeções, restringindo o acesso a outras áreas submersas e uma análise mais aprofundada das estruturas.

As medidas corretivas sugeridas para a reconstrução do hidroviário concentram-se a partir do encamisamento de concreto armado dos elementos estruturais do Terminal Hidroviário, escoramento provisório emergencial, remoção do concreto deteriorado, proteção catódica, nova verificação de carregamento e memorial de cálculo para restabelecer a capacidade resistente da estrutura.

As soluções propostas, fundamentadas nas normas aplicáveis, mostram-se tecnicamente adequadas para a recuperação da infraestrutura. Recomenda-se a execução das intervenções planejadas, bem como a implementação de um programa de monitoramento periódico para assegurar a segurança e a funcionalidade do Terminal.

Para trabalhos futuros, é recomendado a realização de ensaios complementares, para análise até mesmo do concreto utilizado, além de um estudo detalhado para estimativa de custos para a execução do encamisamento proposto, considerando materiais de alta durabilidade e a logística regional. Este trabalho contribui para a melhoria da gestão da infraestrutura portuária em ambientes desafiadores, destacando a importância da análise técnica e do planejamento rigoroso na manutenção do patrimônio público.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto –Procedimento**. Rio de Janeiro. Versão corrigida, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931: Execução de estruturas de concreto — Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15696: Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto — Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697: Cimento Portland — Requisitos**. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto — Especificação**. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado — Especificação**. Rio de Janeiro, 2022.

ALLEN, E.; IANO, J. **Fundamentos da engenharia de edificações: materiais e métodos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 5492: **Análise Sensorial — Vocabulário**. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ARIVABENE, Antonio Cesar. **Patologias em estruturas de concreto armado: Estudo de caso**. Revista Especialize On-line IPOG, Goiânia, v. 3, n. 10, p. 1-22, 2015. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/50485637/antonio-cesar-arivabene-14121142.pdf>. Acesso em: 07 de mar. 2025.

BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do concreto armado**. Bauru: UNESP, 2006.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. Coordenação de João Fernando Dias. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2025.

BRIK, E. M. J.; MOREIRA, L. P.; KRÜGER, J. A. **Estudo das patologias em estruturas de concreto provenientes de erros em ensaios e em procedimentos executivos**. Ponta Grossa: UEPG, 2013. Disponível em: https://www.academia.edu/30249551/Estudo_das_patologias_em_estruturas_de_concreto_provenientes_de_erros_em_ensaios_e_em_procedimentos_executivos. Acesso em: 31 mar. 2026.

CAETANO, L. F. **Estudo do comportamento da aderência em elementos de concreto armado submetidos à corrosão e elevadas temperaturas.** 2008. Dissertação (Mestrado) – UFRGS, Porto Alegre, 2008.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e Terapia do Concreto Armado. Coordenação técnica L. A. Falcão Bauer.** São Paulo: Pini, 1988.

CAMACHO, J. S. **Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural.** Ilha Solteira: UNESP, 2006.

CARVALHO, R. C.; PINHEIRO, L. M. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado.** São Paulo: Pini, 2009.

CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas.** 1. ed. São Paulo: Pini, 2017.

CARVALHO, Emerson Meireles de; SOUZA, Luana de Jesus. **Aplicação de ensaios não destrutivos em perícias de engenharia.** Boletim Técnico BTec 015/2024. São Paulo: IBAPE Nacional, 2024.

CHUST, R. C.; FIGUEIREDO, F. J. R. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado.** 4. ed. São Carlos: EdUFScar, 2014.

CONCRETO & CONSTRUÇÕES. **Recuperação estrutural: diagnósticos e terapias para prolongar a vida útil das obras.** Edição 49. São Paulo: IBRACON, 2009.

CLÍMACO, J. C. T. S. **Estruturas de concreto armado: fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação.** 2. ed. Brasília: Editora UnB, 2008.

CUSTODIO, K. R. **Estruturas de concreto armado I.** Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2018.

DINIZ, C. *et al.* **Nota técnica sobre sedimentos em suspensão na Bacia do Tapajós.** MapBiomias, 2022. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/08/Nota_Tecnica_-_Sedimentos_Rio_Tapajos-5.pdf. Acesso em: 6 abr. 2026.

DUTRA, E. R. **Manifestações patológicas: fissuras – causas, diagnóstico, recuperação.** 2016. TCC (Especialização) – UFMG, Belo Horizonte, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/server/api/core/bitstreams/8b8fd3ea-2704-4079-9a0e-21d1535579d0/content>. Acesso em: 31 mar. 2026.

GUERRA, J. S. **Metodologias e classificação das pesquisas científicas.** RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar, v. 4, n. 3, p. e432830, 2023. Disponível em: <https://recima21.com.br/recima21/article/view/5584>. Acesso em: 4 abr. 2026.

HELENE, Paulo R. L. **Corrosão de armaduras para concreto armado.** São Paulo: Pini: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 1986.

KNAPP, Lia Marina; OLIVAN, Lucy Inês. **Método GUT aplicado às estruturas metálicas e estruturas de concreto**. São Paulo: Leud, 2021.

LAPA, J. S. **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto**. 2008. Monografia (Especialização) – UFMG, Belo Horizonte, 2008.

LINDOSO, S. P. **Patologias no concreto em construções portuárias: estudo de caso no Terminal Hidroviário de Itaituba - PA**. 2024. TCC (Graduação) – UFOPA, Itaituba, 2024.

MAPBIOMAS. **Nota Técnica sobre os sedimentos em suspensão na bacia do Tapajós**. Brasília, 24 jan. 2022. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/08/Nota_Tecnica_-Sedimentos_Rio_Tapajos-5.pdf. Acesso em: 4 abr. 2026.

MAILVAGANAM, Noel P. **Concrete repair and rehabilitation: issues and trends**. e-Mat – Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil, Ano 2004, Vol. 1, Nº 1. p. 1-9. Maio.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2006.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MEIRELES, M. **Ferramentas administrativas para identificar, observar e analisar problemas**. São Paulo: Arte & Ciência, 2001

NADALINI, R.; BISPO, M. L. **Patologia das estruturas: origens, manifestações e consequências**. In: SOUZA, V. C.; RIPPER, T. Patologia das estruturas. 2. ed. São Paulo: OPEE, 1998.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. Tradução: Ruy Alberto Cremonini. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

NUNES, Jéssica César et al. **Principais métodos de ensaios não destrutivos utilizados para análise de pontes de concreto armado em ambientes marinhos**. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 7, n. 5, p. 48645-48664, 2021.

OLIVARI, C. **Patologia em estruturas de concreto armado**. São Paulo: Pini, 2003.

OLIVEIRA, H. M. **Cimento Portland**. In: BAUER, L. A. F. (Ed.). Materiais de construção. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

RESENDE, G. A. **Recuperação de estruturas de concreto armado: técnicas e materiais para prolongar a vida útil**. In: PATORREB, 6., 2018, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: PATORREB, 2018.

RISSE, M. et al. **O ouro ilegal que mina florestas e vidas na Amazônia: uma visão geral da mineração irregular e seus impactos nas populações indígenas**. Instituto Igarapé, artigo estratégico 53. 2021.

SABBATINI, F. F. **Tecnologia da construção de edifícios II**. 2003. Disponível em: https://docentes.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/patologia-e-rec-de-estrutura/conceitos-de-patologias/at_download/file. Acesso em: 07 mar. 2025.

SANTOS, A. **Por que há cimentos que resistem mais aos sulfatos? Cimento Itambé**, 30 jul. 2014. Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/por-que-ha-cimentos-que-resistem-mais-aos-sulfatos>. Acesso em: 07 mar. 2025.

SILVA, A. B. **Segurança e durabilidade estrutural em ambientes agressivos**. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

SILVA, M. A. L. A.; LAURSEN, A. **Patologias da construção civil: investigação patológica em edifício comercial de Caruaru-PE**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, v. 12, p. 69-85, nov. 2022.

SCHUBER, E. S. M. **Neodesenvolvimentismo, reestruturação urbana e cidades médias na Amazônia: o exemplo de Itaituba na sub-região do Tapajós**. 2019. 384 f. Tese (Doutorado em ciências do Desenvolvimento Socioambiental) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2009.

TAVARES, A. J. et al. **Aderência aço-concreto: simulação numérica dos ensaios de arrancamento pull-out e APULOT usando o programa ATENA**. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v. 7, n. 1, p. 138-157, 2014.

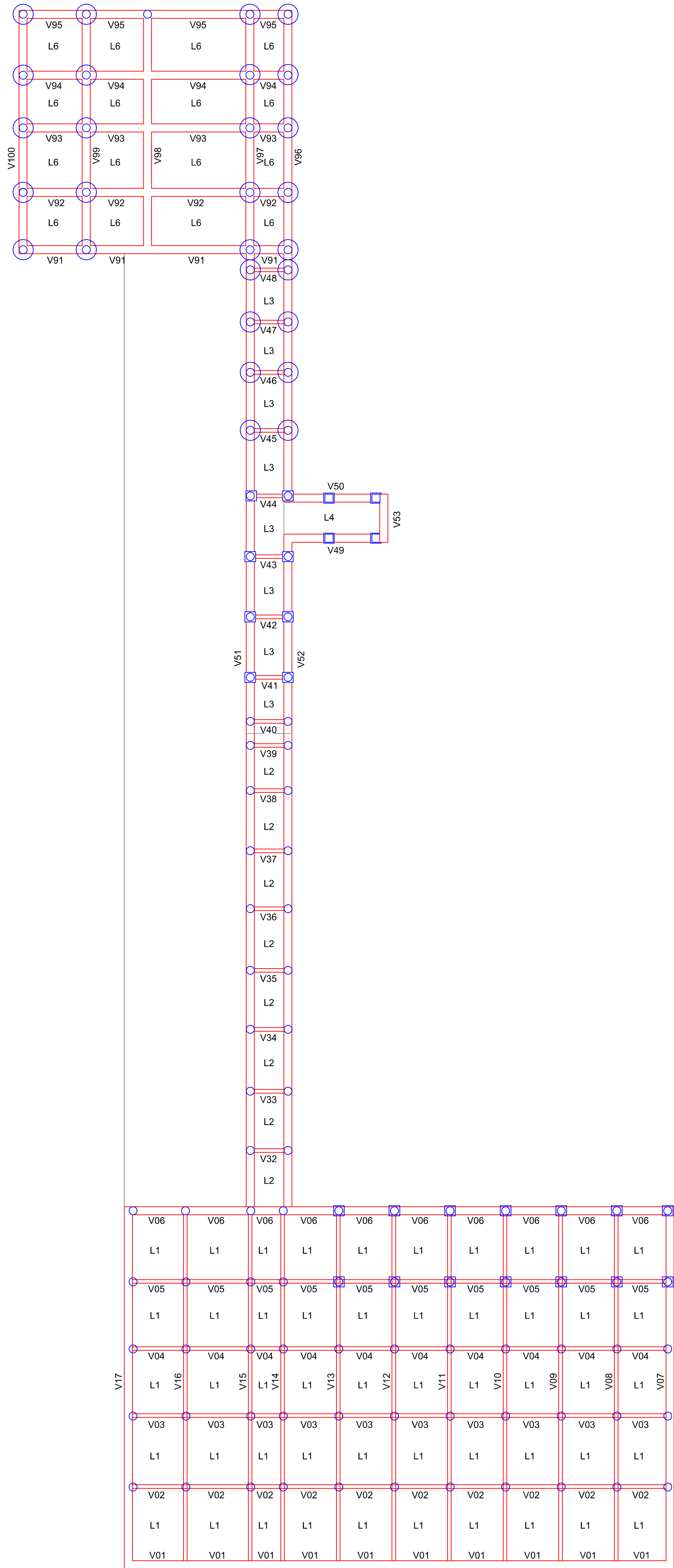
THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, recuperação e prevenção**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

TRINDADE, D. S. **Patologia em Estruturas de Concreto Armado**. 2015. Monografia (Graduação) – UFSM, Santa Maria, 2015.

VIEIRA, G. L.; DAL MOLIN, D. C. C. **Avaliação da resistência à compressão, resistência à tração e formação de microfissuras em concretos produzidos com diferentes tipos de cimentos**. Ambiente Construído, v. 11, n. 1, p. 25-40, 2011.

VIEIRA, A. L. L. et al. **Quantificação de ânions inorgânicos em regiões antropizadas do Rio Tapajós, no Estado do Pará**. Brasil. Revista Virtual de Química, v. 13, n. 2, p. 419-430, 2021. Disponível em: https://rvq.sbq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=1312. Acesso em: 1 abr. 2026

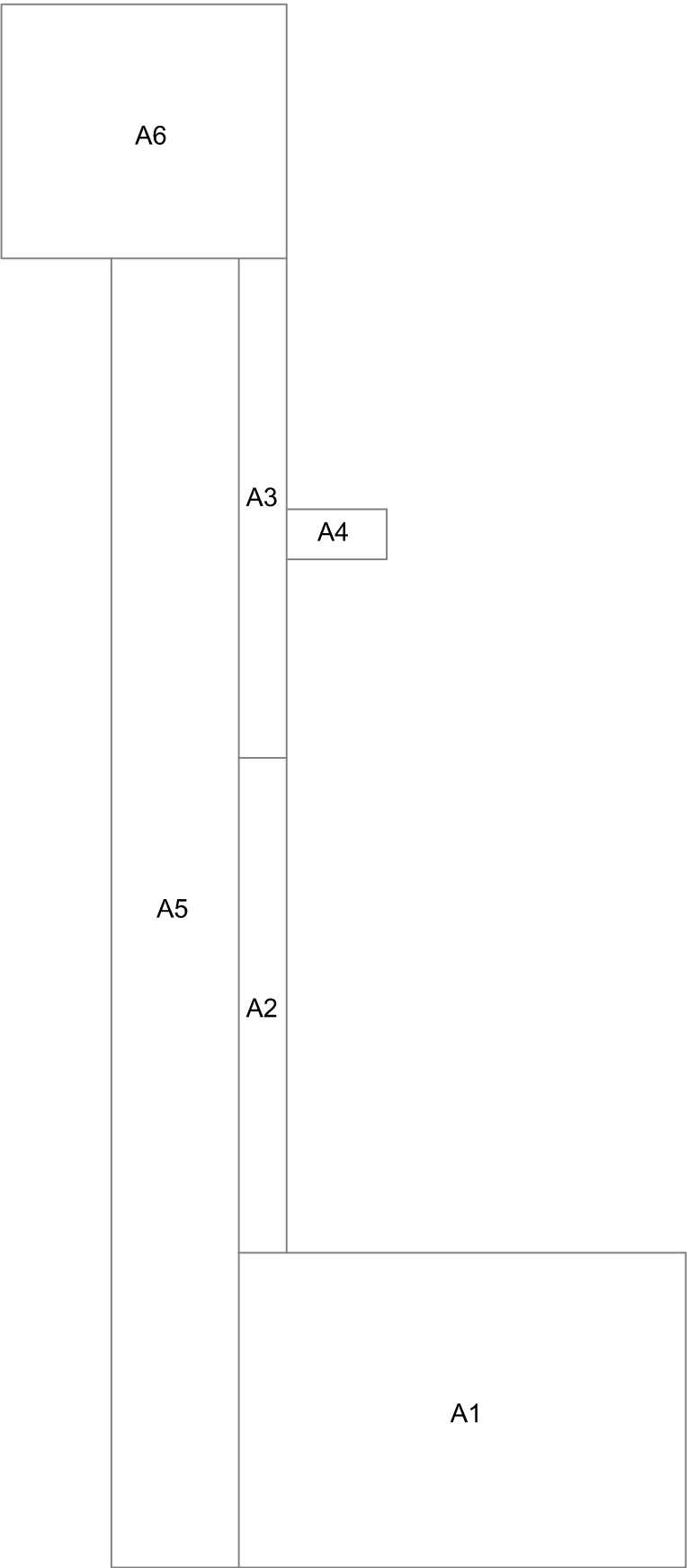
Anexo A



PLANTA PILOTO B
ESC: 1:130



PLANTA PILOTO A
ESC: 1:130



PLANTA CHAVE
VERSO A

TABELA DE VIGAS – PILOTO A		
ÁREA	ITEM	NOME
A1	V01 – V17	VIGA
A2	V32 A V39	VIGA
A3 e A4	V40 A V53	VIGA
A6	V91 A V100	VIGA

TABELA DE LAJES – PILOTO A		
ÁREA	ITEM	NOME
A1	L1	LAJE
A2	L2	LAJE
A3	L3	LAJE
A4	L4	LAJE
A5	L5	LAJE

TABELA DE PILARES – PILOTO B		
ÁREA	ITEM	NOME
A1	P01 A P56	PILAR
A2	P57 A P72	PILAR
A3	P73 A P90	PILAR
A4	P91 A P94	PILAR
A6	P95 A P149	PILAR

TABELA DE VIGAS – PILOTO B		
ÁREA	ITEM	NOME
A1	V50 – V63	VIGA
A2	V64 – V68	VIGA
A3	V69 – V77	VIGA
A4	V78 – V79	VIGA
A6	V80 – V100	VIGA

TABELA DE LAJES – PILOTO B		
ÁREA	ITEM	NOME
A6	L6	LAJE



IMAGENS S/ESCALA

PROJETO/OBRA: PROJETO PILOTO - TERMINAL HIDROVIÁRIO DE ITAITUBA DR. ALMIR GABRIEL		
AUTORAS DO PROJETO: JOENNY DAMASCENO E STEPHANY MARQUES		
LOCALIZAÇÃO: AVENIDA GETÚLIO VARGAS		
CONTEÚDO: ANEXO A		
ESCALA: INDICADA	DATA: ABRIL/2026	REVISÃO: ABRIL/2026
DIREITOS AUTORAIS RESERVADOS: Proibida toda Modificação e Reprodução sem prévia Autorização do Autor.		

PRANCHA: 01

DESENHO: JOENNY E STEPHANY
