



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAPÁ
BACHARELADO EM ENGENHARIA CÍVIL
CAMPUS MACAPÁ

TASSY MANOELA BONGIOVANI MANTOANI
VILMA LÚCIA RAMOS PIRES

**IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE PATOLOGIAS NA ESTRUTURA DO
TRAPICHE ELIEZER LEVY NO MUNICÍPIO DE MACAPÁ-AP**

MACAPÁ-AP

2026

TASSY MANOELA BONGIOVANI MANTOANI
VILMA LÚCIA RAMOS PIRES

**IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE PATOLOGIAS NA ESTRUTURA DO
TRAPICHE ELIEZER LEVY NO MUNICÍPIO DE MACAPÁ-AP**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação do curso de Bacharelado em Engenharia Civil como requisito avaliativo para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Orivaldo de Azevedo Souza Junior.

Coorientador: Prof. Me. Ruan Fabrício Gonçalves Moraes.

MACAPÁ-AP

2026

Biblioteca Institucional - IFAP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

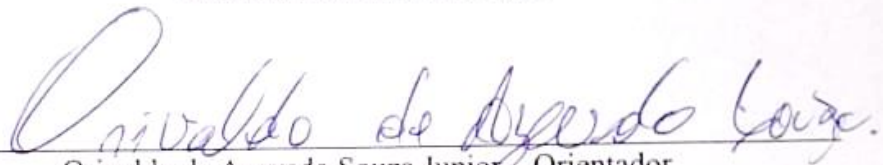
- M293i Mantoani, Tassy Manoela Bongiovani
Identificação e avaliação de patologias na estrutura do Trapiche Eliezer Levy no município de Macapá-AP / Tassy Manoela Bongiovani Mantoani, Vilma Lúcia Ramos Pires. - Macapá, 2026.
67 f.: il.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, Campus Macapá, Bacharelado em Engenharia Civil, 2026.
- Orientador: Dr. Orivaldo de Azevedo Souza Jr.
Coorientador: Me. Ruan Fabrício Gonçalves Moraes.
1. Patologias estruturais. 2. Ensaios não destrutivos. 3. Trapiche Eliezer Levy. I. Pires, Vilma Lúcia Ramos. I. Souza Jr, Dr. Orivaldo de Azevedo, orient. II. Moraes, Me. Ruan Fabrício Gonçalves, coorient. III. Título.

TASSY MANOELA BONGIOVANI MANTOANI
VILMA LÚCIA RAMOS PIRES

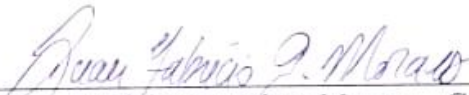
**IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE PATOLOGIAS NA ESTRUTURA
DO TRAPICHE ELIEZER LEVY NO MUNICÍPIO DE MACAPÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à coordenação do curso de Bacharelado
em Engenharia Civil como requisito avaliativo para
obtenção do título de Bacharel em Engenheiro Civil.

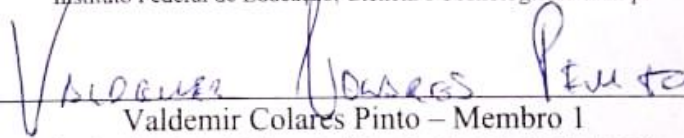
BANCA EXAMINADORA:



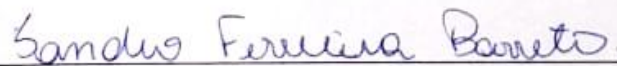
Orivaldo de Azevedo Souza Junior – Orientador
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá



Ruan Fabrício Gonçalves Moraes – Coorientador
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá



Valdemir Colares Pinto – Membro 1
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá



Sandro Ferreira Barreto – Membro 2
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

Aprovado em: 29/01/2026

Conceito/Nota: 10,0

À sociedade amapaense, como forma de contribuir para a segurança e conservação do Trapiche Eliezer Levy.

AGRADECIMENTOS

Às nossas famílias pelo apoio incondicional e incentivo constante ao longo de toda a formação acadêmica.

À amizade e à parceria construída entre a presente dupla, fundamentais para a superação dos desafios, edificação de conhecimentos e para a concretização deste trabalho.

RESUMO

As estruturas de concreto armado são amplamente utilizadas como solução construtiva devido às suas características de resistência e durabilidade ao longo do tempo. No entanto, é de extrema importância a manutenção dessas estruturas para garantir sua conservação frente aos agentes agressores a que são expostas ao longo de sua vida útil. Assim, este trabalho buscou identificar e avaliar as manifestações patológicas existentes no Trapiche Eliezer Levy, localizado na orla do rio Amazonas, no município de Macapá-AP. O estudo dividiu-se em três etapas que incluíram inspeção visual com registro fotográfico, ensaios não destrutivos de carbonatação e de esclerometria realizados em vigas, pilares e lajes. Os resultados apontaram a ocorrência do avanço da carbonatação na estrutura bem como a baixa resistência de seus elementos estruturais, além de outras manifestações patológicas como fissuras e infiltrações. Esses aspectos indicam a ausência de manutenções preventivas e corretivas na estrutura e a necessidade de intervenção como forma de assegurar a durabilidade e conservação da edificação.

Palavras-chave: Trapiche Eliezer Levy, patologias estruturais; ensaios não destrutivos; esclerometria; carbonatação.

ABSTRACT

Reinforced concrete structures are widely used as a constructive solution due to their resistance and durability characteristics over time. However, it is extremely important to maintain these structures to ensure their conservation against aggressive agents to which they are exposed throughout their useful life. Thus, this work sought to identify and evaluate the pathological manifestations existing in the Eliezer Levy Wharf, located on the banks of the Amazon river, in the municipality of Macapá-AP. The study was divided into three stages that included visual inspection with photographic record, non-destructive tests of carbonation and sclerometry performed on beams, pillars, and slabs. The results pointed to the occurrence of carbonation advance in the structure as well as the low resistance of its structural elements, in addition to other pathological manifestations such as cracks and infiltrations. These aspects indicate the absence of preventive and corrective maintenance in the structure and the need for intervention to ensure the durability and conservation of the building.

Keywords: Eliezer Levy wharf; construction pathologies; non-destructive testing; sclerometry; carbonation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Trapiche Eliezer Levy.....	13
Figura 2 - Estrutura atual do trapiche Eliezer Levy.....	13
Figura 3 - Fissura a), Trinca b), Rachadura c).....	17
Figura 4 - a) Capilaridade, b) Impermeabilização.....	18
Figura 5 - Lixiviação (a), Segregação (b).....	19
Figura 6 - Corrosão em armaduras em estruturas.....	20
Figura 7 - Processo de carbonatação	21
Figura 8 - Eflorescências em bloco cerâmico.....	23
Figura 9 - Fluxo de análise das manifestações patológicas	33
Figura 10 - Área de estudo	34
Figura 11 - Croqui da estrutura do Trapiche Eliezer Levy, com indicação dos elementos estruturais analisados.....	35
Figura 12 - Escala de cores provocadas pelo teste de carbonatação no concreto.....	36
Figura 13 - Reticulado para ensaio de esclerometria.....	37
Figura 14 - Processo de erosão em viga	38
Figura 15- Processo de erosão em pilar.....	39
Figura 16 - Processo de erosão em viga e pilar	39
Figura 17 - Laje apresentando infiltrações	40
Figura 18 - Laje apresentando infiltração e fissuras.....	40
Figura 19 - Exposição da armadura da laje	41
Figura 20 - Ensaio de carbonatação.....	42
Figura 21 - Ensaio de carbonatação.....	42
Figura 22 - Ensaio de carbonatação.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - resumo diferença entre trincas, fissuras e rachaduras	17
Tabela 2 - Classes de agressividade ambiental (CAA).....	28
Tabela 3 - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto	29
Tabela 4 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10\text{mm}$	30
Tabela 5 - Ensaio de esclerometria -Vigas	45
Tabela 6 - Resultados do ensaio de esclerometria para pilares	46
Tabela 7 - Resultados do ensaio de esclerometria para lajes.....	47

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Justificativa	15
1.2	Objetivos	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Patologias construtivas	16
2.1.1	Trincas, fissuras e rachaduras	16
2.1.2	Infiltrações	18
2.1.3	Corrosão.....	19
2.1.4	Carbonatação	20
2.1.5	Eflorescência.....	22
2.2	Mecanismos de deterioração do concreto	24
2.3	Manutenção de edificações	25
2.3.1	Conceito e importância da manutenção	26
2.3.2	Tipos de manutenção	26
2.3.2.1	Manutenção Preventiva	26
2.3.2.2	Manutenção Corretiva	27
2.3.2.3	Manutenção Preditiva (Rotineira)	27
2.4	Revisão de normas de projeto	27
2.4.1	NBR 6118/2014 – Projeto de estrutura de concreto armado	27
2.4.2	NBR 7584/2012 – Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão - Método de ensaio	30
2.4.3	RILEM CPC – 18: Medição da profundidade da carbonatação em concreto endurecido	31
3	METODOLOGIA	33
3.1	Área de estudo	34
3.2	Inspeção visual	36
3.3	Ensaio de carbonatação	36
3.4	Ensaio de esclerometria	37
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	38
4.1	Inspeção visual	38
4.3	Ensaio de esclerometria	43

4.3.1	Vigas	43
4.3.2	Pilares	45
4.3.3	Lajes.....	46
4.4	Análise dos resultados	47
5	PROPOSTA DE MEDIDAS CORRETIVAS E PREVENTIVAS	49
5.3	Corrosão de armaduras e erosão do concreto.....	49
5.4	Fissuras e trincas.....	49
5.5	Infiltrações.....	50
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
	REFERÊNCIAS.....	52
	APÊNDICE A – TABELAS COMPLETAS DO ENSAIO DE ESCLEROMETRIA.....	55

1 INTRODUÇÃO

As estruturas de concreto armado estão presentes de forma marcante nas obras de infraestrutura e edificações brasileiras, sendo amplamente utilizadas devido a sua versatilidade, resistência mecânica e viabilidade econômica. No entanto, apesar de seu bom desempenho inicial, essas estruturas estão sujeitas, ao longo do tempo, à ação de agentes físicos, químicos e ambientais que podem comprometer sua durabilidade e segurança especialmente quando não são adotadas medidas adequadas de controle tecnológico e manutenção (NEVILLE, 2016).

Em regiões de clima quente e úmido, como a Amazônia, esses efeitos tendem a se intensificar, exigindo maior atenção quanto ao desempenho e à manutenção das construções. Nesse contexto, o estudo das patologias construtivas assume papel fundamental, uma vez que permite identificar manifestações precoces de degradação, compreender seus mecanismos de origem e propor medidas corretivas e preventivas adequadas. Conforme destaca Andrade (2001), a identificação antecipada das patologias contribui significativamente para a redução de custos de recuperação e para o aumento da durabilidade das estruturas.

Entre as principais patologias que afetam o concreto armado destacam-se a carbonatação, a corrosão das armaduras, as fissurações e a perda de resistência mecânica, fenômenos que, quando não tratados, podem evoluir para quadros de comprometimento estrutural significativo.

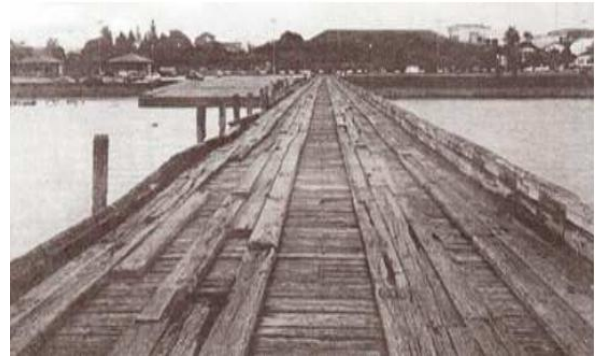
O trapiche Eliezer Levy, localizado na orla do Rio Amazonas, na cidade de Macapá-AP, é um conhecido ponto turístico da capital amapaense que tem se modificado com o passar do tempo. Inaugurado no ano de 1945, durante o governo de Magalhães Barata, o trapiche recebeu o nome do então prefeito de Macapá (Leite, 2020) . Construído em madeira, medindo aproximadamente 472 m de comprimento, serviu por muitos anos como ponto de embarque e desembarque de passageiros e mercadorias (IBGE, sd).). A Figura 1 mostra o Trapiche Eliezer Levy em 1958.

Figura 1 - Trapiche Eliezer Levy



(a) Trapiche Eliezer Levy em 1958

Fonte: Leite (2020)



(b) Primeira estrutura do trapiche

Com a construção de um porto na cidade de Santana, localizada a cerca de 13km de Macapá, o trapiche perdeu sua principal função de atracadouro, o que causou o abandono da estrutura por parte da população que deixou de frequentá-lo (Leite, 2020). Após muitos anos, na década de 1990, o governo do estado investiu em uma nova estrutura, construída em concreto armado e madeira, medindo 372 m de extensão. O trapiche passou, então, a ser um ponto turístico da cidade, permitindo o lazer e contemplação do rio Amazonas à sociedade amapaense.

Em 2011, passou por reforma, mas com o tempo foi novamente esquecido. Após anos sofrendo com a falta de manutenção e revitalização, em 2024, a prefeitura de Macapá reinaugurou o espaço, o qual passou por um processo de reconstrução e ampliação da edificação, e agora conta com aproximadamente 437 m de comprimento e ampla área de contemplação do rio. A figura 2 mostra a atual estrutura do trapiche.

Figura 2 – Estrutura atual do trapiche Eliezer Levy



Fonte: As autoras

É importante destacar que a localização do trapiche expõe a estrutura a condições ambientais como variação da maré, umidade elevada e intensa radiação solar e exposição a

agentes agressivos. Essas condições deixam a edificação suscetível a manifestação de diversas patologias estruturais.

Diante desse cenário, evidencia-se a importância de estudos voltados à avaliação do estado de conservação de estruturas de concreto armado inseridas em ambientes agressivos, como áreas ribeirinhas e costeiras. A ausência de inspeções periódicas e de planos de manutenção adequados contribui para a aceleração dos processos de deterioração, reduzindo a vida útil das estruturas e podendo comprometer sua funcionalidade e segurança. Nesse contexto, a análise das manifestações patológicas observadas no Trapiche Eliezer Levy mostra-se necessária para compreender o comportamento da estrutura frente às condições ambientais e às intervenções realizadas ao longo de sua vida útil.

As patologias em estruturas de concreto armado, em geral, resultam da combinação de fatores como falhas de projeto, execução inadequada, escolha incorreta de materiais, ausência de controle tecnológico e falta de manutenção preventiva. Em ambientes úmidos e com presença de agentes agressivos, esses processos tendem a se intensificar, favorecendo fenômenos como a carbonatação do concreto e a corrosão das armaduras. Segundo Neville (2016), a redução do pH do concreto causada pela carbonatação cria condições propícias ao início da corrosão do aço, resultando em fissuras, destacamento do revestimento e perda de capacidade resistente.

No contexto amazônico, essas manifestações assumem maior relevância devido às condições climáticas caracterizadas por altas temperaturas, elevada umidade relativa do ar e regime intenso de chuvas. A proximidade com o Rio Amazonas expõe as estruturas a ciclos contínuos de molhagem e secagem, variação do nível da água e deposição de agentes agressivos, fatores que influenciam diretamente na durabilidade do concreto armado. A escolha do Trapiche Eliezer Levy como objeto de estudo justifica-se por sua importância histórica, cultural e turística, além de ter passado por diferentes fases construtivas e períodos de abandono.

Diante disso, este trabalho se propõe a estudar as manifestações patológicas presentes no Trapiche Eliezer Levy, buscando identificar seus principais tipos, causas e mecanismos de degradação. A pesquisa também ressalta a importância da engenharia diagnóstica e da adoção de práticas adequadas de manutenção e monitoramento, visando à preservação da durabilidade, segurança e desempenho das estruturas.

1.1 Justificativa

O Trapiche Eliezer Levy, localizado na orla da cidade de Macapá–AP, constitui um importante patrimônio urbano e turístico, estando inserido em um ambiente de elevada agressividade ambiental, caracterizado por alta umidade, ação da maré, presença de sais e exposição contínua ao dióxido de carbono atmosférico. Tais condições favorecem o desenvolvimento de processos de deterioração do concreto, tornando indispensável a realização de inspeções e ensaios que permitam avaliar o estado de conservação da estrutura. Dessa forma, analisar manifestações patológicas presentes na estrutura do trapiche, com ênfase nos ensaios não destrutivos de carbonatação do concreto endurecido e esclerometria, buscando avaliar o avanço dos mecanismos de degradação e a resistência superficial do concreto, contribui para o diagnóstico técnico da estrutura, fornecendo subsídios importantes para a definição de estratégias de manutenção e recuperação para ações e intervenções futuras, visando à segurança, durabilidade e preservação da estrutura do trapiche.

1.2 Objetivos

O objetivo principal desta pesquisa é identificar manifestações patológicas no Trapiche Eliezer Levy, localizado na cidade de Macapá-Ap. Os objetivos específicos são:

- Inspeccionar os principais elementos (vigas, pilares e lajes) que compõe a estrutura do trapiche, a fim de diagnosticar patologias potenciais ao funcionamento de sua estrutura;
- Identificar, por recurso fotográfico, os elementos com maior comprometimento;
- Realizar ensaio de carbonatação e esclerometria, nos elementos mais comprometidos, de acordo com as normas regulamentadoras vigentes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Patologias construtivas

As patologias construtivas referem-se a qualquer tipo de modificação ou dano que comprometa a integridade, a funcionalidade ou a durabilidade de uma construção. Essas manifestações patológicas fazem parte da trajetória das edificações, existindo desde os primórdios da arquitetura. Conforme define a NBR 15575-1 (2021), as patologias são “irregularidades que se manifestam no produto em função de falhas no projeto, na fabricação, na instalação, na execução, na montagem, no uso ou na manutenção, bem como problemas que não decorram do envelhecimento natural”.

As manifestações patológicas em concreto armado não possuem uma única origem, mas sim uma sobreposição delas que incluem a degradação de materiais (como a corrosão de armaduras), falhas de projeto, execução inadequada, sobrecarga, ou a ação de agentes agressivos externos, como umidade, agentes químicos e biológicos (Bolina et al, 2019, p.62). A identificação e o correto diagnóstico dessas patologias são essenciais para a definição de estratégias de intervenção eficazes, visando a preservação e a segurança das construções.

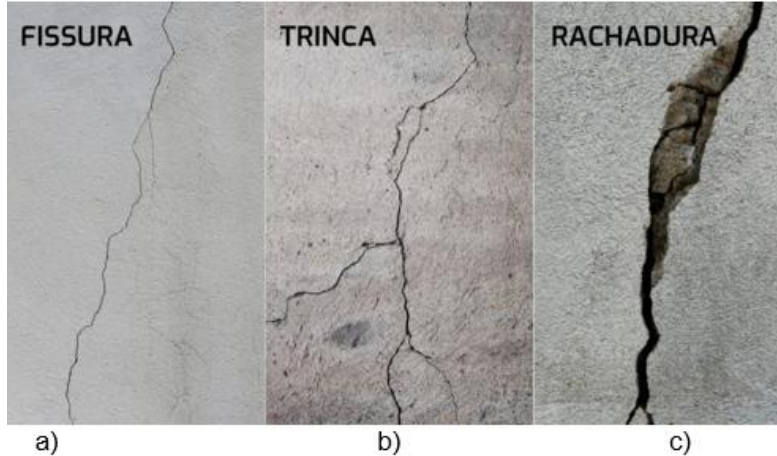
As patologias podem se manifestar de diferentes formas e são causadas por uma série de fatores que comprometem a integridade e durabilidade das estruturas ao longo do tempo, sendo sua origem fortemente relacionada às fases de projeto e execução (Garcez e Meneghetti, 2020).

2.1.1 Trincas, fissuras e rachaduras

Trincas, por exemplo, são fraturas lineares que ocorrem em elementos de alvenaria ou concreto, podendo atingir parcialmente ou completamente uma peça estrutural. Elas podem surgir por retrações plásticas, movimentações térmicas ou ainda por falhas de projeto e execução. Fissuras são aberturas mais finas e localizadas, geradas por tensões físicas ou químicas, como variações térmicas, contração por secagem ou recalques internos. Dependendo da profundidade e extensão, podem comprometer peças de vedação ou revestimentos. Rachaduras são manifestações mais agressivas, com aberturas maiores (acima de 1 mm, podendo superar 5 mm) e que muitas vezes atravessam o elemento construtivo por completo. Essas aberturas podem permitir passagem de ar, água ou luz, caracterizando falha grave no sistema de vedação.

A Figura 3 mostra detalhes de trincas, fissuras e rachaduras em peças de concreto armado e a Tabela 1 compara as diferenças entre os três tipos de manifestações patológicas, considerando a largura, profundidade, causa, impacto estrutural e necessidade de intervenção.

Figura 3 - Fissura a), Trinca b), Rachadura c)



Fonte: Dallminas, s.d.

Tabela 1 - resumo diferença entre trincas, fissuras e rachaduras

Característica	Trinca	Fissura	Rachadura
Largura	< 1 mm	1 mm a 5 mm	>5 mm
Profundidade	Superficial	Mais profunda	Profunda e extensa
Causa	Retração, variações térmicas	Movimentações excessivas, tensão acumulada	Problemas estruturais sérios
Impacto Estrutural	Baixo	Moderado	Alto
Necessidade de intervenção	Geralmente não requer intervenção	Avaliação necessária	Atenção imediata

Fonte: Lottermann, 2013

A diferenciação entre trinca, fissura e rachadura é essencial para o diagnóstico correto da patologia e para a escolha da técnica de reparo. Em uma revisão literária sobre patologias em concreto armado, constatou-se que “trincas/fissuras, corrosão da armadura, deslocamento, eflorescência e carbonatação” estão entre as manifestações mais recorrentes (UNICERP, 2023, p. 12).

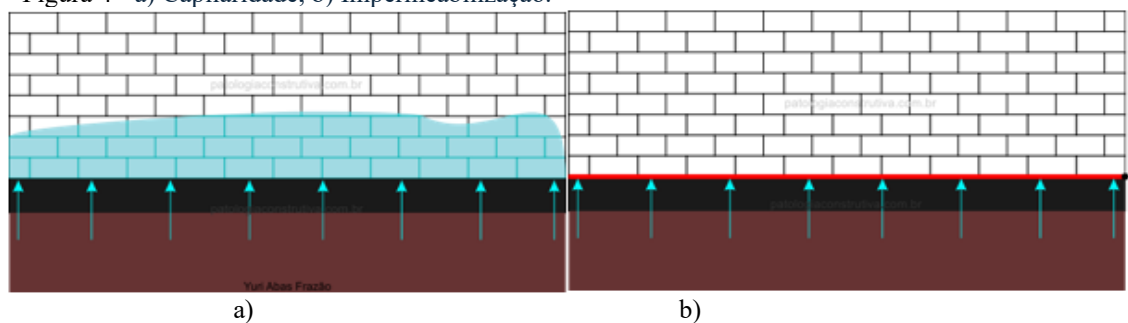
2.1.2 Infiltrações

As infiltrações também constituem uma das patologias mais comuns e perigosas em estruturas, pois levam à corrosão das armaduras do concreto, reduzindo a aderência entre a armadura e o concreto e comprometendo o desempenho estrutural. Trata-se do movimento de água (ou outro fluido) através de poros, fissuras ou descontinuidades das peças estruturais.

A presença de capilaridade nos materiais de construção permite que a umidade ascenda desde a base ou o solo até o interior das paredes. Esse fenômeno pode transportar sais dissolvidos e causar manchas, descamação de revestimentos e comprometimento estrutural com o tempo, e é inevitável, mas é possível criar uma barreira eficaz para impedir que a umidade alcance as armaduras. Portanto, a impermeabilização das fundações e das vigas baldrame torna-se essencial, assim como a rigorosa inspeção e execução dos cobrimentos mínimos exigidos pelas normas de estruturas de concreto armado.

Embora o processo não elimine o fenômeno, bloqueia sua penetração nos materiais. A impermeabilização pode ser realizada com diferentes produtos, à base de cimento ou asfalto. O mais importante é seguir rigorosamente os critérios técnicos indicados pelos fabricantes e aplicar as melhores práticas e técnicas construtivas. A Figura 4 ilustra como ocorre o processo da capilaridade e como a impermeabilização da superfície atua impedindo a ascensão da umidade.

Figura 4 - a) Capilaridade, b) Impermeabilização.



Fonte: Frazão, 2020.

As infiltrações podem ser divididas em duas grandes categorias: internas e externas. As internas normalmente surgem devido a problemas como tubulações com defeito ou vazamentos no sistema hidráulico, podendo atingir não apenas o imóvel afetado, mas também unidades vizinhas. As infiltrações externas, por outro lado, costumam ser provocadas pela ação da chuva e pela umidade do solo, que acabam penetrando nas paredes e nas fundações da construção.

Quando internalizada, a umidade favorece a deterioração de revestimentos, aparecimento de bolhas, mofo, corrosão de componentes metálicos e comprometimento da integridade das juntas, comprometimento estrutural nos casos mais graves, lixiviação, segregação do concreto e desgastes de esquadrias. A Figura 5 mostra o processo de lixiviação e segregação.

Figura 5- Lixiviação (a), Segregação (b)



Fonte: Prudêncio, 2024.

É essencial identificar rapidamente a origem da infiltração, uma vez que o tratamento inadequado ou tardio pode agravar os danos e afetar a estrutura da edificação. Medidas preventivas, como o uso de impermeabilizantes, a manutenção regular de encanamentos e a correta drenagem de águas pluviais, são fundamentais para evitar esses problemas. Dessa forma, um planejamento adequado e a atenção às condições de umidade podem contribuir significativamente para a durabilidade e segurança da construção.

2.1.3 Corrosão

A corrosão das armaduras é uma das patologias mais graves em estruturas de concreto ou alvenaria reforçada, já que pode debilitar a capacidade de carga do elemento e gerar falhas imprevisíveis. Nas estruturas de concreto armado, o aço é mantido em um ambiente altamente alcalino, o que, em condições normais, o protege da corrosão devido a uma camada passiva que se forma na sua superfície. A Figura 6 mostra detalhes de corrosão em armaduras.

Figura 6 - Corrosão em armaduras em estruturas



Fonte: Nakamura, 2020.

Um dos principais causadores da corrosão é a umidade, pois a presença de água é fundamental para que esse processo ocorra. A umidade pode penetrar nas paredes, criando um ambiente propício para reações químicas que afetam as armaduras. Além disso, agentes corrosivos, como cloretos, sulfatos e sulfetos, podem estar presentes na própria mistura de concreto ou no ambiente, acelerando ainda mais o processo de corrosão (Lottermann, 2013).

A falha no cobrimento das armaduras. Quando o concreto não é adequadamente aplicado, ou quando há insuficiência no cobrimento sobre as armaduras, o aço fica exposto a agentes corrosivos. Concretos mal adensados ou com fissuras permitem a penetração de umidade e substâncias químicas, tornando a corrosão ainda mais provável. Além disso, a porosidade, trincas e fissuras e má vibração das peças podem influenciar na infiltração.

Quando a água penetra por fissuras ou porosidade do material, os íons se movem até o aço e geram reações eletroquímicas, liberando íons Fe^{2+} e ocasionando microfissuras que evoluem para ferrugem. Essa oxidação gera expansão volumétrica, que por sua vez provoca fissuração e deslocamento do concreto adjacente.

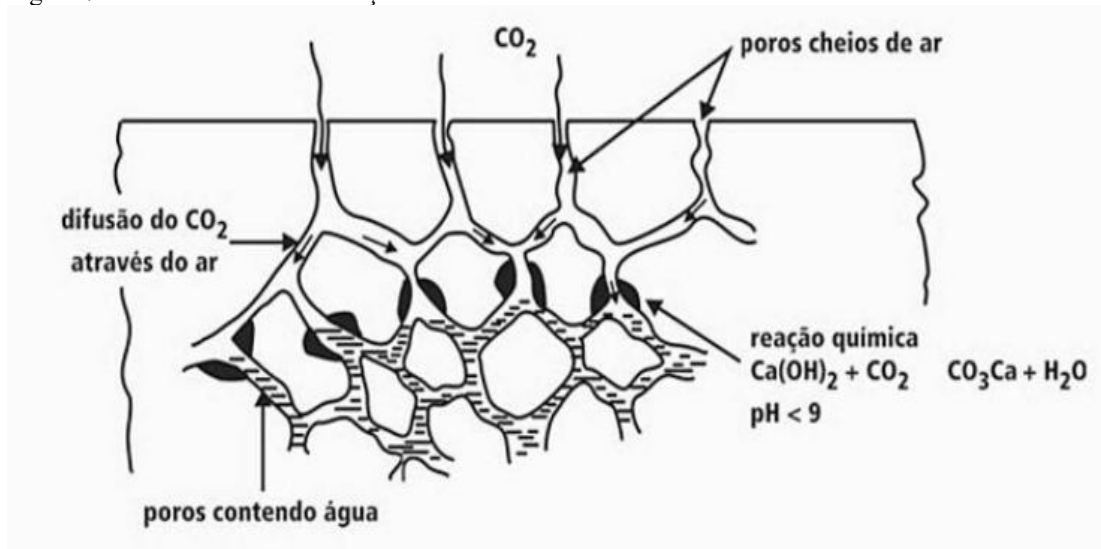
2.1.4 Carbonatação

A carbonatação é uma das patologias mais críticas em estruturas de concreto armado, pois altera a química do concreto e reduz sua capacidade de proteger as armaduras. Trata-se de um processo físico-químico em que o dióxido de carbono (CO_2) da atmosfera penetra nos poros do concreto e reage com os produtos de hidratação, como o hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$). Esse processo gera carbonatos que fazem decrescer o pH do concreto, eliminando a passividade que protegia o aço (UNICERP, 2023, p. 5).

Sousa e Gomez (2018, p. 2) definem a carbonatação como um processo físico-químico onde ocorre a formação de sais de carbonato a partir da reação de neutralização entre o hidróxido de cálcio (CH) e o gás carbônico (CO₂). Esse fenômeno patológico surge das reações químicas entre elementos ácidos presentes no ambiente e o líquido intersticial nos poros do concreto.

Fusco (2008) explica que, quando a peça de concreto não está completamente imersa, a exposição ao ar permite a penetração do CO₂ nos poros úmidos que contêm hidróxido de cálcio dissolvido, desencadeando o processo de carbonatação, como se observa na figura 7. O autor também destaca que, se o pH interno do concreto cair abaixo de 9, a camada de passivação que protege as barras de aço é destruída, comprometendo a proteção contra a corrosão.

Figura 7 – Processo de carbonatação



Fonte: Fusco, 2008

A penetração do dióxido de carbono no concreto está diretamente relacionada à permeabilidade do material, ao cobrimento das armaduras, à umidade relativa do ambiente e à qualidade da cura realizada. Concretos com maior permeabilidade e com cura inadequada tendem a permitir uma penetração mais rápida do CO₂. Quando a carbonatação avança até as armaduras em condições de umidade e presença de oxigênio, ocorre a perda do ambiente alcalino que protege o aço, o que pode desencadear processos de corrosão, resultando em fissuras, deslocamento do concreto e consequente redução da capacidade estrutural da estrutura.

Possan (2010) afirma que a carbonatação avança de acordo com a facilidade de penetração do CO₂ no concreto, influenciada por fatores como as condições ambientais e a

exposição a agentes agressivos. Além disso, Sousa e Gomez (2018) complementam que o aumento da temperatura acelera o movimento dos íons, intensificando as reações químicas. A umidade relativa do ambiente também influencia, já que afeta a quantidade de água nos poros do concreto, regulando a velocidade de dispersão dos gases.

Neville e Brooks (2013) observam que, se o concreto for permeável e a carbonatação atingir a armadura em presença de água e oxigênio, o processo de corrosão será iniciado. A carbonatação, segundo Possan (2010), atua como catalisador da corrosão das armaduras, visto que a redução da alcalinidade do concreto compromete a estabilidade da camada passivante, criando um ambiente favorável à corrosão.

Dada a gravidade desse processo para a durabilidade das estruturas, é essencial aplicar técnicas preventivas adequadas e agir rapidamente ao menor sinal de carbonatação para minimizar danos. O controle da relação água/cimento e o respeito ao cobrimento especificado no projeto, conforme as normas técnicas, são fundamentais para prevenir a entrada de agentes nocivos no concreto, garantindo segurança e durabilidade. A diminuição da quantidade de água na mistura de concreto reduz a porosidade, bloqueando a penetração de gases e líquidos externos.

Neville e Brooks (2013) afirmam que, quando o cobrimento está adequado, a passivação da armadura é mantida durante a vida útil da estrutura. No entanto, Baroghel-Bouní et al. (2014) argumentam que o controle do cobrimento sozinho não garante a durabilidade; é igualmente crucial controlar a permeabilidade e a difusão de líquidos e gases.

2.1.5 Eflorescência

A eflorescência é um fenômeno comum em estruturas de alvenaria, caracterizado pelo aparecimento de depósitos de sais brancos ou acinzentados na superfície de tijolos, blocos ou argamassa (Neves, 2019). Esses depósitos são formados pela migração de sais solúveis presentes no interior dos materiais de construção para a superfície, onde cristalizam ao entrar em contato com o ar. Apesar de ser um problema estético, a eflorescência pode indicar a presença de umidade excessiva na estrutura, o que, se não for tratado, pode comprometer a durabilidade dos materiais. A Figura 8 ilustra a presença de eflorescência em parede de tijolo.

Figura 8 - Eflorescências em bloco cerâmico



Fonte: Neves, 2019

A eflorescência ocorre quando a água presente no interior da alvenaria dissolve os sais solúveis contidos no concreto, argamassa ou tijolos. Essa solução salina é transportada para a superfície por meio de um processo de capilaridade. Ao atingir a superfície, a água evapora e os sais cristalizam, formando depósitos visíveis (Schuster, 2022).

O processo de formação da eflorescência depende de três condições principais: a presença de água no material de construção, a existência de sais solúveis e a porosidade do material, que permite a migração da solução salina. Quando essas condições estão presentes, a eflorescência é inevitável, e pode ocorrer em diferentes graus, dependendo da quantidade de água e sais disponíveis. O cimento contém compostos químicos como hidróxidos de cálcio e hidróxidos de magnésio, que, ao entrarem em contato com o gás carbônico presente no ar, formam cal livre. Esse processo é conhecido como carbonatação.

A primeira condição para o surgimento da eflorescência é a presença de cal livre, que está presente em qualquer material que contenha cimento. Quando a cal livre entra em contato com a água ocorre sua dissolução (Neves, 2019). Essa solução, devido às diferentes concentrações de sal, se movimenta para a superfície por um processo osmótico. Com a evaporação da água, formam-se depósitos esbranquiçados de sais, conhecidos como eflorescência.

As causas da eflorescência em alvenaria estão diretamente relacionadas à presença de umidade e à migração de sais solúveis através dos materiais porosos. Um dos principais fatores que contribuem para a eflorescência é a umidade ascendente, em que a água do solo é absorvida pela estrutura de alvenaria, transportando os sais presentes no concreto ou no próprio solo para a superfície (Schuster, 2022).

Infiltrações também são uma causa comum, sendo resultado de falhas na impermeabilização, como fissuras na alvenaria, goteiras ou ausência de proteção adequada contra a chuva. Além disso, o uso de materiais de construção contaminados, como tijolos, blocos ou argamassas que já contêm sais solúveis, pode promover o surgimento do problema.

A falta de impermeabilização adequada nas fundações ou juntas de alvenaria é outro fator que favorece a penetração de umidade, desencadeando o processo de eflorescência.

2.2 Mecanismos de deterioração do concreto

A deterioração do concreto pode se dar por diversos fatores, os quais são divididos em físicos, químicos e biológicos. A deterioração química, como o nome destaca, promove alteração na constituição química do material, modificando também suas características físicas e mecânicas. Sua origem combina a ação de agentes agressores provenientes do meio ambiente, da contaminação da matéria-prima, ou mesmo da composição dos materiais (Bolina et al, 2019, p.41).

Como mecanismos químicos podem ser citados:

- **Lixiviação:** processo em que os compostos da pasta de cimento são dissolvidos e carreados por ação da água. A região lixiviada pode apresentar agregados expostos, risco de desenvolvimento de fungos, eflorescências brancas e risco de despassivação da armadura.
- **Expansão por sulfato:** ocorre quando há presença de sulfato em água ou solo. O sulfato penetra a pasta de cimento através de seus poros e reage com o cálcio e/ou alumínio dando origem a compostos expansivos capazes de gerar fissuras, esfoliação, redução da dureza e da resistência superficial do concreto.
- **Reação álcalis-agregado:** de acordo com a NBR 15577 (2021), é a reação que ocorre entre constituintes de alguns agregados e componentes alcalinos dissolvidos na solução dos poros do concreto. Para sua ocorrência são necessários três fatores atuantes de forma simultânea os quais sejam: umidade, álcalis e agregados potencialmente reativos. Como consequência podem surgir fissuras, expansões e redução nas propriedades do concreto como resistência a tração e módulo de elasticidade (ABNT NBR 6118, 2014).

Os mecanismos físicos são aqueles que promovem esforços internos à peça. Podem ocorrer tanto no estado fresco do concreto, ou no estado endurecido e tem como causa a insuficiência estrutural da peça às solicitações internas. Dentre os mecanismos físicos destacam-se:

- **Retração do concreto:** A retração do concreto se divide em quatro tipos: secagem, assentamento plástico, autógena e carbonatação. As retrações por assentamento plástico, autógena e carbonatação são consideradas pouco danosas e incomuns, ocorrendo apenas em situações específicas. Já a retração por secagem é mais corriqueira, visto que se dá em decorrência da perda excessiva da água livre no concreto por evaporação, tendo sua maior

contribuição nas primeiras 48 horas após a concretagem. Ocorre principalmente em dias quentes, de forte insolação, baixa umidade e incidência de ventos, gerando fissuras (Bolina et al, 2019, p.109).

- **Movimentação térmica do concreto:** Diz respeito a contração e expansão do concreto em decorrência da variação de temperatura. Depende também das dimensões das peças, da taxa de armadura e da sua distribuição ao longo da seção transversal. Tem como principal manifestação patológica o surgimento de fissuras (Bolina et al, 2019, p.117).

- **Desgaste superficial:** O desgaste superficial pode gerar erosão, quando originado pelo contato de partículas ou materiais sólidos com o elemento, ou causar a cavitação devido a movimentação corrente de água (Bolina et al, 2019, p.117).

Os mecanismos de deterioração biológica, também chamados de biodeterioração, consistem na proliferação de microrganismos na superfície da estrutura, capazes de propiciar a ocorrência de mudanças nas propriedades do material, provocando efeitos como o envelhecimento precoce, comprometimento da durabilidade e integridade do elemento (Bolina et al, 2019, p.42).

Quando se trata desse tipo de deterioração é importante observar que ela depende de fatores ambientais, os quais permitem a manutenção da vida do agente biológico, tais como a umidade e o calor. Os principais organismos causadores de agressões ao concreto são fungos, bactérias e algas. Trazem como principal consequência a segregação de ácidos húmicos que através da dissolução da pasta de cimento provoca a redução de suas propriedades. A presença desses agentes agressores indica a possível existência de umidade interna no elemento construtivo. Além disso, a depender da espessura de cobertura da armadura, é possível a ocorrência de corrosão (Bolina et al, 2019, p.117).

2.3 Manutenção de edificações

A manutenção predial é uma atividade essencial para a preservação da integridade das edificações, visando garantir segurança, funcionalidade, desempenho e conforto aos usuários ao longo do tempo. A negligência quanto a essas ações pode acarretar não apenas prejuízos financeiros, mas também riscos à vida humana e ao meio ambiente. Por esse motivo, torna-se fundamental compreender os tipos de manutenção existentes, sua importância estratégica e a forma adequada de planejá-la.

2.3.1 Conceito e importância da manutenção

Manutenção em edificações pode ser entendida como o conjunto de ações técnicas, administrativas e operacionais que visam conservar ou restabelecer as condições ideais de uso de um imóvel. Essas ações se aplicam tanto aos elementos estruturais quanto aos sistemas complementares, como redes hidráulicas, elétricas, de drenagem e de proteção contra incêndio.

Mais do que conservar a aparência do edifício, a manutenção adequada é decisiva para garantir a durabilidade dos materiais e a eficiência dos sistemas construtivos. A sua ausência pode acelerar processos de degradação, elevar os custos com reparos emergenciais e até gerar a necessidade de intervenções estruturais profundas. Além disso, edificações mal-conservadas tendem a perder valor de mercado e oferecer condições de habitabilidade insatisfatórias.

2.3.2 Tipos de manutenção

De acordo com a NBR 5674 (2012a), a manutenção pode ser classificada em três categorias principais: rotineira, corretiva e preventiva, cada uma com finalidades e aplicações específicas.

2.3.2.1 Manutenção Preventiva

Segundo a NBR 5674 (2012a), a manutenção preventiva deve ser planejada com base em prognósticos, durabilidade estimada, gravidade e relatórios de inspeção, buscando sempre preservar o desempenho da edificação conforme o previsto em projeto.

A manutenção preventiva é aquela realizada de forma planejada e periódica, mesmo na ausência de falhas visíveis. Seu objetivo é evitar o surgimento de problemas, prolongando a vida útil dos componentes da edificação. Exemplos comuns incluem a limpeza de calhas e ralos, inspeções em sistemas elétricos e hidráulicos, pintura de superfícies expostas, revisão de telhados, e manutenção de equipamentos de segurança.

Essa modalidade de manutenção, quando bem implementada, contribui para a redução de custos com correções emergenciais e para o aumento da confiabilidade operacional do edifício.

2.3.2.2 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva, por sua vez, ocorre de forma reativa, ou seja, somente após o surgimento de uma falha ou danos. Trata-se da modalidade mais comum, especialmente em edificações que não adotam um planejamento sistemático. Exemplos incluem a troca de peças defeituosas, o reparo de infiltrações e trincas, ou a substituição de componentes danificados.

Embora necessária em muitos casos, a manutenção corretiva costuma apresentar custos mais elevados, além de impactar negativamente o uso do imóvel durante os períodos de intervenção.

2.3.2.3 Manutenção Preditiva (Rotineira)

A manutenção rotineira, também prevista na NBR 5674, refere-se às atividades simples e frequentes, como limpeza, pequenos ajustes e conservação cotidiana. Essas ações, embora básicas, são fundamentais para manter a edificação em condições adequadas de uso e para detectar precocemente sinais de degradação (ABNT, 2012a).

A manutenção preditiva baseia-se no acompanhamento técnico e na análise do desempenho dos sistemas e elementos da edificação ao longo do tempo. Com base em dados obtidos por meio de inspeções, sensores ou medições, é possível prever falhas antes que elas ocorram, otimizando o tempo e os recursos para a manutenção.

Esse tipo de abordagem exige maior investimento em tecnologia e qualificação da equipe técnica, mas pode oferecer excelente retorno em edificações de médio e grande porte.

2.4 Revisão de normas de projeto

2.4.1 NBR 6118/2014 – Projeto de estrutura de concreto armado

As estruturas de concreto armado são projetadas para apresentarem segurança e durabilidade ao longo de sua vida útil, comportando-se de maneira adequada às solicitações previstas. Para que isso seja uma realidade é necessário atentar-se aos requisitos de qualidade de uma estrutura que devem incluir capacidade resistente, desempenho de serviço e durabilidade (IBRACON,2015). Esses requisitos são apresentados pela NBR 6118 (2014) e tratam respectivamente sobre: a segurança à ruptura, danos estruturais que comprometam o uso e capacidade de resistir às influências ambientais.

São vários os mecanismos que podem levar ao envelhecimento e deterioração de uma estrutura. Esses mecanismos estão relacionados a aspectos como ações mecânicas, movimentações, impactos ou mesmo com a agressividade do meio ambiente, através de ações químicas e físicas atuantes na estrutura (IBRACON,2015).

A garantia dos requisitos mínimos de qualidade das estruturas está diretamente relacionada com a qualidade do concreto utilizado. Esse, por sua vez, relaciona-se diretamente com o ambiente o qual a edificação será implantada e é indispensável para garantir que as agressões ambientais sejam suportadas pela estrutura ao longo do tempo (Bolina et al, 2019, p.68). A NBR 6118 (2014), define, como mostra a Tabela 2, as classes de agressividade ambiental, baseada em ações físicas e químicas:

Tabela 2 - Classes de agressividade ambiental (CAA)

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

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: ABNT, 2014.

Conforme se pode extrair da tabela, quanto maior o grau de agressividade ambiental, maior é o risco de deterioração da estrutura, fato que indica a necessidade de cuidados na elaboração do projeto, execução da edificação e manutenção. Ainda sobre a qualidade do concreto, a NBR 6118(2014) estabelece requisitos mínimos a serem observados quanto à relação água/cimento máxima e o Fck mínimo, visando diminuir a suscetibilidade à agentes agressores (Bolina et al, 2019, p.69). Essa relação pode ser observada na Tabela 3:

Tabela 3 - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto a	Tipo b,c	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$

a) O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

b) CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

c) CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: ABNT, 2014

A espessura do cobrimento da armadura também é apresentada como fator relevante na conservação da estrutura especialmente em ambientes agressivos. A norma indica a adoção de valores mínimos de cobrimento a depender das condições de projeto, por exemplo, em regiões com baixa umidade e em peças que serão revestidas por cerâmica é possível reduzir a espessura de cobrimento, enquanto para pilares em contato com o solo o cobrimento mínimo deve ser respeitado. A Tabela 4 relaciona a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal, foi extraída da NBR 6118(2014) e é apresentada a seguir:

Tabela 4 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10\text{mm}$

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV
		cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo	30	30	40	50
Concreto protendido	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 ≥ 15 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 ≥ 45 mm.

Fonte: ABNT, 2014

2.4.2 NBR 7584/2012 – Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão - Método de ensaio

O ensaio de esclerometria, também conhecido como ensaio do martelo de Schmidt, é um método não destrutivo que permite a avaliação da dureza superficial do concreto endurecido e a estimativa da resistência à compressão do material. Os critérios de avaliação e a metodologia do ensaio estão descritas na NBR 7584(2012) – Concreto endurecido – avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão - método de ensaio, da qual trata esta seção. Este ensaio é amplamente empregado em inspeções, avaliações de estruturas existentes, diagnósticos de patologias, sendo de grande relevância em ocasiões em que a extração de amostras não é viável.

O equipamento utilizado para o ensaio é o esclerômetro de reflexão, o qual deve estar calibrado, conforme indica a norma. A NBR 7584 determina a verificação periódica do equipamento para garantir a confiabilidade dos resultados.

O ensaio consiste na aplicação padronizada de impacto sobre a superfície do concreto através do esclerômetro. O impacto causa o recuo do cursor do equipamento, registrando a distância do ressalto em uma escala graduada, a qual resulta no índice esclerométrico. O ensaio não fornece diretamente o valor da resistência do concreto, mas um parâmetro que deve ser interpretado considerando fatores como a idade do concreto, tipo de agregado e condições ambientais (ABNT, 2012b).

Para a realização do ensaio, a NBR 7584 estabelece critérios de preparo da superfície, a qual deve estar limpa, seca e isenta de partículas soltas, pinturas e revestimentos. Os impactos devem ser realizados perpendicularmente à superfície e distribuídos de forma homogênea. A área de ensaio deve ser uniformemente distribuída e devem ser efetuados 16 impactos, para isso é indicado desenhar um reticulado determinando cada quadrante. Não é permitido mais de um impacto sobre o mesmo ponto. É importante evitar regiões próximas às bordas, armaduras expostas e bolhas (ABNT, 2012b).

Para cada área ensaiada é necessário obter a média aritmética dos 16 valores encontrados. Os valores que se afastam 10% do valor médio devem ser descartados e após, nova média deve ser calculada. Para o resultado se faz necessário no mínimo cinco valores individuais, caso contrário o ensaio da área deve ser desconsiderado. Nos casos que se faça necessária a correção do índice esclerométrico de uma área, deve-se utilizar o coeficiente de correção fornecido pelo fabricante do equipamento (ABNT, 2012b).

2.4.3 RILEM CPC – 18: Medição da profundidade da carbonatação em concreto endurecido

A carbonatação do concreto é um dos principais mecanismos de deterioração das estruturas de concreto armado, especialmente em ambientes expostos à atmosfera e à elevada umidade. Esse processo ocorre quando o dióxido de carbono (CO_2) presente no ar penetra nos poros do concreto e reage com os produtos de hidratação do cimento, promovendo a redução do pH do material. Como consequência, ocorre a perda da camada de passivação que protege as armaduras, tornando-as suscetíveis à corrosão.

A recomendação RILEM CPC-18 estabelece os procedimentos para a medição da profundidade da carbonatação em concreto endurecido, sendo amplamente utilizada em inspeções e diagnósticos de estruturas existentes. O método baseia-se na aplicação de um

indicador químico, geralmente a fenolftaleína, sobre a superfície recém-fraturada ou exposta do concreto. Esse indicador permite identificar a zona carbonatada a partir da variação de coloração, uma vez que a fenolftaleína permanece incolor em meios com pH inferior a aproximadamente 9 e adquire coloração violeta em ambientes alcalinos.

De acordo com a RILEM CPC-18, após a aplicação da solução indicadora, a profundidade da carbonatação é determinada pela medição da região onde não ocorre mudança de cor, correspondendo à área onde o pH foi reduzido pela ação do CO₂. Esse procedimento permite avaliar se a frente de carbonatação já atingiu ou está próxima das armaduras, o que representa risco potencial de início do processo corrosivo.

A norma destaca que os resultados do ensaio devem ser analisados considerando fatores como idade da estrutura, cobrimento das armaduras, qualidade do concreto, condições de exposição ambiental e histórico de manutenção. Em estruturas localizadas em ambientes agressivos, como regiões costeiras ou ribeirinhas, o avanço da carbonatação tende a ocorrer de forma mais acelerada, principalmente quando o concreto apresenta elevada porosidade ou falhas de execução.

Assim, a aplicação do método proposto pela RILEM CPC-18 constitui uma ferramenta essencial para a avaliação da durabilidade do concreto, permitindo diagnósticos mais precisos e auxiliando na tomada de decisões quanto à necessidade de intervenções corretivas ou preventivas ao longo da vida útil da estrutura.

3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia empregada para identificação e avaliação das patologias no Trapiche Eliezer Levy. Inicialmente definiu-se a área de estudos, identificando os elementos (pilares, vigas e lajes) com maiores desgastes. Posteriormente, procedeu-se com a inspeção visual e registro fotográfico dos elementos danificados. Em seguida, iniciou-se os estudos das patologias propostas nesta pesquisa que são a carbonatação e esclerometria, realizadas de acordo as normas vigentes.

A amostragem para realização dos ensaios foi definida contemplando quatro vigas, quatro pilares e quatro lajes, sendo baseada em critérios técnicos, funcionais e ambientais, e não estatísticos, uma vez que o estudo possui caráter diagnóstico e exploratório, típico de avaliações preliminares de estruturas existentes.

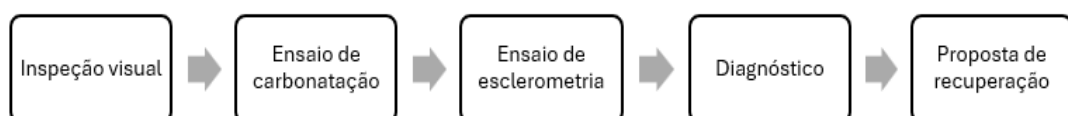
A seleção dos elementos estruturais foi realizada de forma intencional e setorial, abrangendo diferentes trechos do trapiche, de modo a representar distintas condições de exposição à umidade, à ação da maré, à insolação e ao desgaste ao longo do tempo. A escolha de quatro unidades por tipo estrutural permitiu:

- Avaliar a variabilidade do desempenho do concreto ao longo da estrutura;
- Comparar o comportamento entre elementos com diferentes níveis de degradação visível;
- Estabelecer uma tendência geral de desempenho mecânico e de durabilidade, sem a pretensão de caracterização estatística global.

Ressalta-se que esse tipo de amostragem é amplamente utilizado em inspeções técnicas e engenharia diagnóstica, especialmente quando associada à inspeção visual e a ensaios não destrutivos, sendo adequada para subsidiar decisões técnicas iniciais e indicar a necessidade de estudos complementares.

Os resultados das análises são apresentados em seguida juntamente com uma proposta de recuperação da estrutura. A figura 9 indica o fluxo do trabalho desenvolvido.

Figura 9 – Fluxo de análise das manifestações patológicas

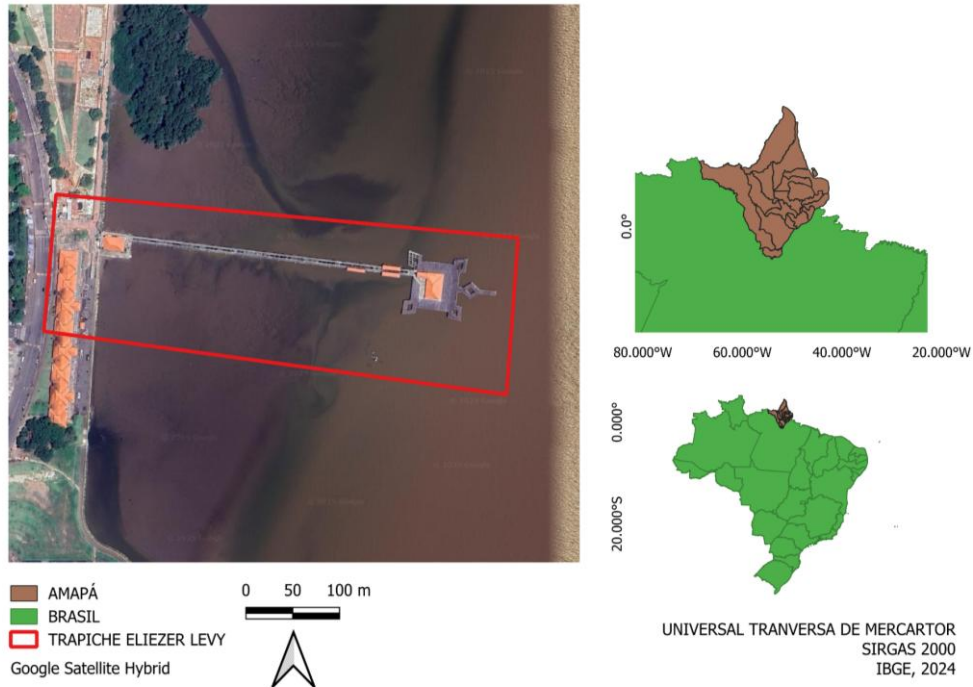


Fonte: As autoras, 2026.

3.1 Área de estudo

A área de estudo compreende o trapiche Eliezer Levy, localizado na cidade de Macapá-AP, na orla do rio Amazonas, identificado através do mapa da Figura 10.

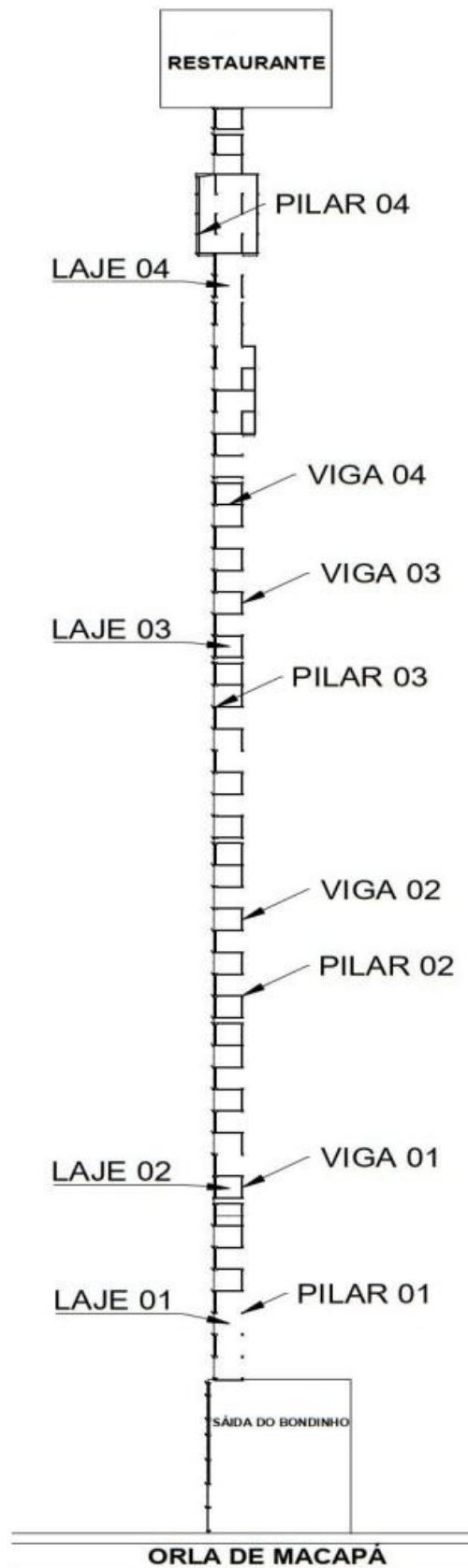
Figura 10 - Área de estudo



Fonte: As autoras, 2026

É uma obra de arte especial que atualmente possui cerca de 437 metros de comprimento composta por elementos estruturais em concreto armado. A estrutura foi dividida, para fins de estudo em duas parcelas: antiga, construída na década de 1990, com 372 metros de comprimento, e a nova construída no ano de 2024 como parte da obra de reforma e ampliação da estrutura. Neste estudo será considerada apenas a estrutura antiga do trapiche a qual está representada no croqui da figura 11.

Figura 11 - Croqui da estrutura do Trapiche Eliezer Levy, com indicação dos elementos estruturais analisados



3.2 Inspeção visual

A inspeção visual tem como finalidade a análise qualitativa dos elementos estruturais, fornecendo informações sobre o estado geral da obra. Durante a inspeção visual investigou-se a existência de fissuras, infiltrações, erosões e exposição e corrosão da armadura.

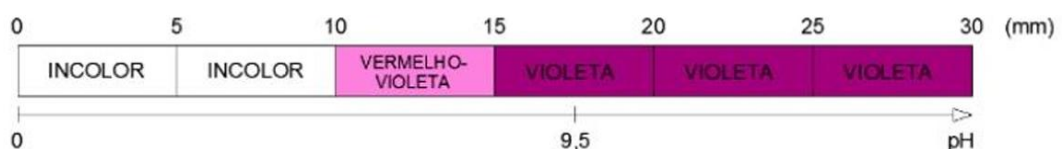
A inspeção foi realizada por toda a estrutura antiga do trapiche, verificando as lajes, tanto sua parte superior quanto inferior, vigas e pilares que constituem a mesoestrutura.

3.3 Ensaio de carbonatação

Para a realização do ensaio de carbonatação foi utilizada solução de fenolftaleína, conforme indica a RILEM CPC – 18, aplicada em regiões de vigas e pilares que apresentavam deterioração. Os ensaios foram realizados por amostragem priorizando vigas e pilares que apresentavam sinais de degradação, permitindo que os resultados correspondessem as características gerais de toda a estrutura.

A interpretação dos resultados desse ensaio se baseia na análise da coloração do concreto após a aplicação da solução, a qual pode variar de incolor à violeta, conforme o pH da superfície, como pode ser observado na Figura 12.

Figura 12 - Escala de cores provocadas pelo teste de carbonatação no concreto



Fonte: As autoras, 2026

Superfícies ácidas permanecem incolor, enquanto superfícies alcalinas apresentam coloração entre o vermelho e o violeta. Dessa forma, sendo o concreto um material alcalino, para que mantenha suas características conservadas e consiga conferir proteção a armadura, espera-se encontrar a coloração violeta, a qual garante um alto pH.

Após a aplicação da solução, as áreas que indicavam baixo pH foram medidas para se obter a profundidade da carbonatação e verificar a proximidade das armaduras.

3.4 Ensaio de esclerometria

O ensaio de esclerometria foi realizado conforme determina a NBR 7584/2012, de forma representativa em doze elementos estruturais, (quatro vigas, quatro pilares e quatro lajes), os quais estão identificados no croqui da edificação, na figura 12, buscando avaliar a dureza superficial do concreto e assim, estimar a resistência à compressão.

Antes do ensaio as superfícies foram devidamente preparadas. Para cada elemento ensaiado delimitou-se a área através do traçado de um reticulado contendo dezesseis pontos, como mostra a figura 13, aos quais foram aplicados os golpes perpendiculares com o esclerômetro, garantindo a homogeneidade das leituras.

Figura 13 – Reticulado para ensaio de esclerometria



Fonte: As autoras, 2026

O mesmo procedimento foi seguido para todas as estruturas estudadas. Os dados coletados pelo ensaio foram registrados, organizados em tabelas e tratados conforme indica a NBR 7584/2012, a fim de se obter a resistência à compressão média de cada elemento estrutural. Nos quadrantes em que não foi possível detectar o índice esclerométrico colocou-se a sigla N/D, para não detectado. Assim, obteve-se a média aritmética dos índices esclerométrico encontrados, descartou-se os valores que se afastaram 10% da média e fez-se novamente o cálculo da média. Aplicou-se o fator de correção $k = 1,05$ para obtenção do índice esclerométrico efetivo. Por fim, estimou-se a resistência final do elemento através da tabela de correlação disponibilizada pelo fabricante.

Vale ressaltar que não se obteve acesso ao projeto estrutural do trapiche, tornando impossível comparar os resultados encontrados com parâmetros de projeto. Desse modo, os resultados foram comparados com as recomendações da NBR 6118/2014, considerando a classe de agressividade ambiental à qual a estrutura se insere.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Inspeção visual

Em visita realizada ao local foi constatado que os pilares e vigas sofrem um processo de erosão, expondo os agregados que compõem o concreto e a armadura de aço. Esse fenômeno pode ser observado nas figuras 14, 15 e 16 apresentadas a seguir. Fica evidente também, a ausência de cobertura da armadura, fato esse que corrobora para sua oxidação, já que permanece suscetível a ação de agentes agressivos. Essa condição é considerada grave e requer atenção, pois

Figura 14 - Processo de erosão em viga



Fonte: As autoras, 2026

Figura 15- Processo de erosão em pilar



Fonte: As autoras, 2026

Figura 16 - Processo de erosão em viga e pilar



Fonte: As autoras, 2026

Nas lajes também foi possível observar manifestações patológicas. A figura 17 evidencia a presença de infiltrações ocasionadas em parte pelas perfurações necessárias à fixação do trilho do bondinho. Apesar de serem consideradas de médio risco, sua manutenção não pode ser negligenciada.

Figura 17 - Laje apresentando infiltrações



Fonte: As autoras, 2026

Já na figura 18, além da infiltração também é possível observar a presença de fissuras. Essas são patologias consideradas de baixo risco, e devem sua presença principalmente em virtude do processo de movimentação térmica.

Figura 18 - Laje apresentando infiltração e fissuras



Fonte: As autoras, 2026

Na figura 19 evidencia-se a exposição da armadura e sua oxidação, manifestações patológicas de risco médio, que podem se agravar. São possivelmente decorrentes de erros de

execução da concretagem em que não se atentou para o cobrimento mínimo da armadura e utilização de espaçadores.

Figura 19 – Exposição da armadura da laje



Fonte: As autoras, 2026

4.2 Ensaio de carbonatação

Foram selecionadas algumas peças da estrutura para realização dos ensaios não destrutivos de carbonatação e esclerometria, com o objetivo de verificar a possível oxidação da armação e a resistência do concreto.

Ao realizamos os ensaios na estrutura do trapiche foi possível constatar a ocorrência de carbonatação, como pode ser visto nas figuras 20 e 21, em que se verifica o avanço da carbonatação nas bordas e parte superior da estrutura em cerca de 1 (um) centímetro, região em que a solução ficou incolor indicando a diminuição da alcalinidade do concreto.

Figura 20- Ensaio de carbonatação



Fonte: As autoras, 2026

Figura 21- Ensaio de carbonatação



Fonte: As autoras, 2026

Enquanto na figura 22 a carbonatação ocorreu na região próxima às armaduras. Já as áreas com coloração vermelho-violeta, indicam a ocorrência de um leve grau de carbonatação.

Figura 22- Ensaio de carbonatação



Fonte: As autoras, 2026

Com base nas peças ensaiadas, e comparando de forma generalizada com o restante da estrutura, constata-se que o avanço da carbonatação foi brando ao longo dos 35 anos, atingindo apenas a parte mais superficial do concreto, o que permite inferir que nas regiões em que a camada de concreto se encontra preservada não ocorre o processo de corrosão da armadura pelo processo de carbonatação.

4.3 Ensaio de esclerometria

A seguir são demonstrados os resultados dos ensaios de esclerometria. Os dados são apresentados em tabelas e divididos por tipo de peça estudada, organizados na sequência: vigas, pilares e lajes.

4.3.1 Vigas

São apresentados na tabela 5 os resultados de resistência mínima, média e máxima encontrados para as vigas ensaiadas. A Viga 1 apresentou resultados heterogêneos ao longo dos pontos ensaiados, evidenciando uma condição de concreto já bastante degradada. A resistência média obtida (14,53 MPa) está abaixo do que se espera para elementos estruturais expostos a ambiente marinho, que normalmente exigem concretos de maior desempenho e menor

permeabilidade. Observa-se ainda que diversos pontos tiveram leituras descartadas devido à alta dispersão, o que indica superfície irregular, desgaste do concreto ou presença de zonas frágeis. A resistência mínima registrada (10,03 MPa) reforça que parte da viga trabalha em condição inadequada, resultado coerente com o estado físico deteriorado observado durante a inspeção visual. Apesar de alguns pontos apresentarem valores mais satisfatórios, o comportamento geral da viga demonstra perda significativa de capacidade ao longo do tempo.

Na Viga 2, a resistência média à compressão aferida foi de 12,83 MPa, valor inferior ao da Viga 1 e indicativo de nível ainda mais elevado de deterioração. A presença de diversas leituras desconsideradas devido à falta de uniformidade do concreto confirma que a superfície apresenta desgaste pronunciado, o que dificulta a obtenção de valores consistentes. A resistência mínima (8,33 MPa) reforça o quadro de fragilidade, já que valores tão baixos não são compatíveis com peças estruturais sujeitas a esforços constantes e ambiente agressivo. De modo geral, a viga apresenta comportamento mecânico abaixo dos parâmetros esperados, refletindo o efeito de décadas de exposição sem manutenção adequada.

Os resultados obtidos para a Viga 3 indicam uma resistência média de 11,97 MPa, a menor entre as vigas avaliadas. Grande parte das leituras precisou ser descartada, revelando forte desgaste superficial e possíveis regiões com desagregação do concreto. A baixa resistência mínima (7,47 MPa) evidencia pontos críticos que podem estar próximos do limite estrutural inaceitável, especialmente considerando o ambiente extremamente agressivo ao qual a estrutura está exposta. Ainda que alguns pontos tenham apresentado valores moderados, o desempenho global da viga demonstra perda substancial de qualidade do concreto, sugerindo que essa peça pode estar entre as mais comprometidas do conjunto analisado.

A Viga 4 apresentou resistência média de 12,26 MPa, valor ligeiramente superior às vigas anteriores, mas ainda abaixo do ideal. A quantidade elevada de leituras desconsideradas novamente aponta para problemas de superfície, degradação e possíveis falhas do concreto. Os resultados variaram bastante, indo de 7,76 MPa a 16,76 MPa, o que evidencia comportamento irregular e provável heterogeneidade do material. Apesar de apresentar alguns valores mais altos, o desempenho médio ainda é insuficiente para garantir confiabilidade estrutural plena em um ambiente sujeito à ação direta da maré e da umidade contínua.

Tabela 5 - Ensaio de esclerometria - Vigas

Viga	Resistencia Média (MPa)	Resistencia Mínima (MPa)	Resistencia Máxima (MPa)
1	14,53	10,03	19,03
2	12,83	8,33	17,33
3	11,97	7,47	16,47
4	12,26	7,76	16,76

Fonte: As autoras, 2026

Dessa forma, considerando a NBR 6118 a qual define valores mínimos de resistência a compressão do concreto em relação ao grau de agressividade ambiental, nota-se que nenhuma das vigas estudadas apresentou, em qualquer dos pontos aferidos, resistência igual ou superior a 40 Mpa, como prevê a norma. Esses resultados indicam que as vigas apresentam resistência insuficiente prejudicando a segurança e durabilidade da estrutura frente às condições ambientais agressivas às quais está exposta.

4.3.2 Pilares

Conforme dados da tabela 6, o pilar 1 apresentou resistência média de 15,20 MPa, superior aos valores encontrados nas vigas. Isso indica que, apesar dos danos visíveis, este elemento ainda mantém parte significativa de sua capacidade mecânica. Entretanto, a resistência mínima (10,70 MPa) demonstra que existem pontos vulneráveis, que podem estar associados à carbonatação avançada ou corrosão localizada das armaduras. Como pilares são elementos fundamentais à estabilidade global, esses resultados inspiram atenção, pois revelam que parte da seção pode estar comprometida.

No Pilar 2, a resistência média verificada foi de 14,53 MPa, valor considerado baixo para um elemento de sustentação primária. A diferença entre resistência mínima (10,03 MPa) e máxima (19,03 MPa) demonstra alta variabilidade, característica comum em concretos deteriorados por infiltrações e movimentações térmicas. Apesar de alguns pontos apresentarem valores aceitáveis, o comportamento geral aponta perda de consistência e evidencia que o pilar tem sofrido ao longo do tempo com a agressividade do ambiente ribeirinho.

Entre os pilares avaliados, o Pilar 3 apresentou o melhor desempenho mecânico, com resistência média de 19,85 MPa e valores máximos ultrapassando 24 Mpa. Isso indica que o concreto dessa peça apresenta maior integridade quando comparado aos demais elementos estruturais. Ainda assim, a presença de leituras descartadas mostra que, apesar de melhor desempenho, também há regiões com perda de aderência ou desgaste superficial. Mesmo com resultados mais favoráveis, a estrutura ainda precisa de atenção devido à presença de carbonatação e possíveis processos de corrosão observados em campo.

O pilar 4, apresentou resistência média de 18,38 MPa, demonstrando desempenho semelhante ao Pilar 3. Contudo, grande parte das leituras precisou ser descartada, o que revela significativa deterioração da superfície do concreto. A resistência mínima de 13,88 MPa indica que existem regiões bem abaixo do desempenho desejado, sugerindo fragilidade localizada. Apesar de valores médios razoáveis, a irregularidade dos resultados aponta para deterioração avançada, principalmente nas áreas mais expostas à maré e ao contato prolongado com água.

Tabela 6 - Resultados do ensaio de esclerometria para pilares

	Resistencia Média (MPa)	Resistencia Mínima (MPa)	Resistencia Máxima (MPa)
1	15,20	10,7	19,7
2	14,53	10,03	19,03
3	19,85	15,35	24,35
4	18,38	13,88	22,88

Fonte: As autoras

4.3.3 Lajes

Com base na análise do ensaio de esclerometria, as quatro lajes apresentam concreto com resistência à compressão superiores a 30MPa, como apresentado na tabela 7. No ensaio da laje 1, a média obtida para os 15 pontos aproveitados foi igual a 43,88MPa, resistência superior a mínima indicada pela norma.

A laje 2 apesar da boa resistência, 30,91 MPa, não se enquadra nos parâmetros da NBR 6118, em que a resistência mínima indicada é de 40MPa para classe de agressividade ambiental IV a qual se submete a estrutura.

As lajes 3 e 4 apresentaram as melhores medias de resistência a compressão. Para a laje 3 obteve-se uma média de 46,57 MPa, enquanto para a laje 4 a média foi de 46,52MPa, ambas superiores a resistência mínima exigida pela NBR 6118.

Apesar de apresentarem boa resistência a compressão é necessário destacar a ocorrência da exposição da armadura na face inferior das lajes do trapiche, bem como a infiltração que também ocorre em toda sua extensão evidenciada nas imagens do tópico 2.3.

Tabela 7 - Resultados do ensaio de esclerometria para lajes

Laje	Resistencia Média (MPa)	Resistencia Mínima (MPa)	Resistencia Máxima (MPa)
1	43,88	36,88	50,88
2	30,91	24,41	37,41
3	46,57	39,57	53,57
4	46,52	39,52	53,52

Fonte: As autoras, 2026

4.4 Análise dos resultados

Os resultados obtidos durante a inspeção no Trapiche Eliezer Levy deixaram evidente que a estrutura está passando por um processo de desgaste muito acelerado. Ao longo da vistoria, foi possível observar vários sinais de deterioração, principalmente nos pilares e vigas, que são justamente os elementos responsáveis por sustentar a maior parte da edificação. Em inúmeros pontos, o concreto já se encontra desgastado, com partes soltas, armaduras expostas e até trechos onde vigas já colapsaram, o que demonstra que o nível de comprometimento é realmente preocupante.

Os ensaios realizados ajudaram a confirmar essas observações. O teste de esclerometria, que avalia a dureza superficial do concreto e permite estimar a sua resistência, mostrou resultados abaixo do recomendado pelas normas para estruturas localizadas em ambientes agressivos, como é o caso do trapiche. Enquanto as lajes ainda apresentaram valores

satisfatórios, pilares e vigas ficaram muito abaixo do esperado, indicando perda de resistência e fragilidade ao longo do tempo. Esse enfraquecimento estrutural, somado à corrosão das armaduras, deixa claro que esses elementos já não oferecem a segurança necessária.

Outro ponto analisado foi a carbonatação do concreto, que acontece de forma natural, mas é acelerada em locais úmidos e expostos a agentes agressivos. Embora o ensaio tenha mostrado que a carbonatação ainda não alcançou totalmente as armaduras em algumas áreas, sua presença já é um sinal de alerta. Somado a isso, a infiltração constante e o contato com a água do rio contribuem para que o processo avance mais rapidamente.

Além dos danos estruturais, a inspeção também identificou problemas funcionais, como infiltrações, ralos deteriorados, juntas de dilatação sem manutenção e corrosão acentuada no sistema de trilhos do bondinho. Todos esses fatores acabam agravando ainda mais o estado da estrutura, acelerando o desgaste e favorecendo a entrada de água, principal agente de degradação no caso do trapiche.

De maneira geral, os resultados analisados mostram que o trapiche está passando por um estágio avançado de deterioração e necessita de intervenções urgentes. A combinação entre desgaste natural, ambiente agressivo e falta de manutenção ao longo dos anos contribuiu para a situação atual. Assim, os dados confirmam que não se trata apenas de reparos pontuais, mas sim da necessidade de um conjunto de ações que devolvam segurança e prolonguem a vida útil da estrutura.

5 PROPOSTA DE MEDIDAS CORRETIVAS E PREVENTIVAS

Ao se recuperar uma estrutura se tem como objetivo principal proporcionar a restituição das suas características estéticas e funcionais. Assim, a seguir são sugeridas algumas medidas a serem adotadas com objetivo de promover a recuperação da estrutura do trapiche.

5.3 Corrosão de armaduras e erosão do concreto

Considerando os diversos elementos estruturais que sofreram processos de erosão e exposição das armaduras, além das regiões de lajes que apresentam armadura exposta e oxidada, é indicado realizar a restauração do concreto com prévio tratamento da armadura. Essa restauração consiste em utilizar argamassa, graute ou concreto para reconstituir a área afetada.

Para realizar tal reabilitação se faz necessário preparar a superfície para receber o tratamento. Dessa forma, as etapas necessárias são:

- Delimitação da área a ser restaurada
- Remoção do concreto deteriorado;
- Remoção das impurezas;
- Tratamento prévio das armaduras, com uso de pintura anticorrosiva;
- Aplicação da camada de proteção (argamassa, graute ou concreto).

Nas áreas de laje é possível fazer a restauração com o uso de argamassa de cimento e areia, visto que segundo Da Silva (2006), ela pode ser aplicada no preenchimento de regiões com profundidade superior a 2,5 cm.

Para as regiões que sofreram erosão e necessitam de recomposição com espessuras superiores a 5cm, como é o caso das vigas e pilares, é indicado o uso de argamassa tipo graute. Segundo Silva et al, o graute é um material que possui fácil aplicação e elevada resistência mecânica, além de ausência de retração, o que o torna um bom material para regiões que sofrem variação térmica constante.

5.4 Fissuras e trincas

As lajes são as estruturas em que se evidenciaram o surgimento de fissuras e trincas . Para a recuperação dessas superfícies a solução indicada é a injeção de material nas fendas. O uso de material flexível como mástiques e resinas acrílicas é indicado para o caso de trincas e

fissuras ativas, àquelas em que ocorre variação da espessura, como as observadas no trapiche (SILVA et al, 2022).

5.5 Infiltrações

O tratamento das infiltrações deve ser feito através da aplicação de impermeabilizantes, medida amplamente defendida por pesquisadores que estudam a durabilidade de estruturas expostas à ação da água. Helene (2019), um dos autores mais atuantes na área de patologia das construções, ressalta que a água é “o principal agente de degradação das estruturas de concreto”, reforçando a necessidade de prevenir sua entrada e circulação em elementos estruturais. Assim, no Trapiche Eliezer Levi, a adoção de um sistema adequado de impermeabilização — aliado ao reparo das áreas danificadas e ao monitoramento contínuo — torna-se fundamental para evitar danos progressivos e preservar o desempenho da estrutura ao longo do tempo. Dessa forma, as medidas corretivas e preventivas devem priorizar tanto o uso dos materiais certos quanto inspeções regulares, garantindo que o ambiente agressivo costeiro não acelere o aparecimento de novas patologias.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste trabalho, foi possível compreender que as patologias construtivas do Trapiche Eliezer Levy vão muito além de um estudo técnico: trata-se também de reconhecer a importância histórica, social e simbólica dessa estrutura para a cidade de Macapá. Ao realizar as visitas, observar de perto o desgaste do concreto, a corrosão das armaduras e a presença expressiva de infiltrações, tornou-se evidente que a ação do tempo e a falta de manutenção tem causado a deterioração da estrutura. Esses danos, embora esperados em um ambiente tão agressivo quanto o ribeirão, revelam a necessidade urgente de intervenções planejadas e contínuas.

Os ensaios não destrutivos aplicados permitiram confirmar, com base técnica, aquilo que a inspeção visual já mostrava: vigas e pilares apresentam resistência muito inferior ao mínimo recomendado pelas normas, enquanto as lajes, apesar de demonstrarem melhor desempenho, não estão livres de problemas como infiltrações e armaduras expostas. Esses resultados deixam claro que a estrutura necessita de atenção imediata, sob risco de comprometer não apenas sua durabilidade, mas também a segurança dos usuários.

Mais do que apontar falhas, este estudo contribui para demonstrar o quanto a manutenção preventiva é fundamental. A deterioração que se observa hoje não se deve apenas ao ambiente hostil, mas também à ausência de intervenções adequadas ao longo dos anos. Assim, espera-se que esse trabalho sirva como alerta, mas também como incentivo para que ações de revitalização sejam implementadas de forma planejada e contínua, garantindo a preservação de um dos principais cartões-postais da cidade.

Por fim, esta pesquisa representou não apenas um exercício acadêmico, mas uma oportunidade de compreender a responsabilidade profissional do engenheiro civil frente às estruturas que fazem parte do cotidiano das pessoas. Que os resultados obtidos possam contribuir para futuras decisões técnicas e para a valorização da manutenção como parte essencial da vida útil das edificações.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, J. J. O. **Durabilidade das estruturas de concreto armado**: análise das manifestações patológicas e seus mecanismos. São Paulo. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade de São Paulo. Disponível em : <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/122441>. Acesso em 23/11/2025
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674**: manutenção de edificações: Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto: Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7187**: projeto de pontes de concreto armado e concreto protendido: Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais: Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15577**: agregados: Reatividade álcalis-agregado. Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/491256369/NBR-15577-1>. Acesso em: 28 set. 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7584**: concreto endurecido: avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão: método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2012. Disponível em: <https://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/15030/material/NBR%207584%20-%202012.pdf>. Acesso em: 13/12/2025.
- BAROGHEL-BOUNÍ, V; CAPRA, B.; LAURENS, S. A durabilidade das armaduras e do concreto de cobrimento. In: CASCUDO, O; CARASEK, H. (org.). **Durabilidade do concreto**: bases científicas para formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente. São Paulo: IBRACON, 2014.
- BOLINA, F. L.; TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. R. L. **Patologia de estruturas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.
- DALLMINAS. **Fissuras, trincas e rachaduras**. s. d. Disponível em: <https://www.dallminas.com.br/fissuras-trincas-e-rachaduras/>. Acesso em: 15 out. 2025.
- DAVID, D. M; BENVENUTTI FILHO, R. D. **Princípios e métodos de reabilitação de estruturas de concreto armado**. Goiânia - GO: Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Curso de Graduação em Engenharia Civil, 2020. Monografia. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/PRINC%3%8DPIOS_E_M%3%89TODOS_DE_REABILITA%3%87%3%83O_DE_ESTRUTURAS_DE_CONCRETO_ARMADO.pdf. Acesso em: 25/11/2025.
- DE SOUSA, P. A.; GOMES, T. **Estudo dos efeitos da carbonatação na vida útil de pontes de concreto armado**. Engineering Sciences, v. 6, n. 2, p. 1–11, 2018.

FRAZÃO, Y. A. **Umidade ascendente em pé de parede**. *Spot Cursos*, 2020. Disponível em: <https://spotcursos.com.br/blogs/patologia-da-construcao/posts/umidade-ascendente-em-pe-de-parede>. Acesso em: 15 out. 2025.

FUSCO, P. B. **Tecnologia do concreto estrutural**. São Paulo: Pini, 2008.

GARCEZ, M. R.; MENEGHETTI, L. C. Patologia, recuperação e reforço em alvenaria estrutural. In: MOHAMED, G. (org.). **Construções em alvenaria estrutural: materiais projetos e desempenho** 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2020. p. 13–52. E-book. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=BAkVEAAAQBAJ>. Acesso em: 14 set. 2025.

HELENE, P. **Manual de Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Pini, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Portal da Biblioteca IBGE**. Disponível em: [//biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=440384](http://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=440384). Acesso em: 7 set. 2025.

LEITE, E. C. **Proposta arquitetônica e urbanística para o trapiche Eliezer Levy**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2020. Disponível em: <https://repositorio.unifap.br/items/c4442414-c8b0-4713-a5b8-79d1ae9cc6b9>. Acesso em: 13/10/2025.

LOTTERMANN, L. R. **Patologias das construções: diagnóstico e reparo**. São Paulo: Érica, 2013.

NAKAMURA, J. **Corrosão de armaduras: confira dicas para prevenir e corrigir o problema**. 2020. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/corrosao-de-armaduras-confira-dicas-para-prevenir-e-corrigir-o-problema/20494>. Acesso em: 15 out. 2025.

NEVES, A. **Eflorescência: saiba tudo sobre essa manifestação patológica**. 2019. Disponível em: <https://www.blok.com.br/blog/eflorescencia>. Acesso em: 15 out. 2025.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

POSSAN, E. **Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano**. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/28923>.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MACAPÁ. **Prefeito de Macapá, Dr. Furlan, entrega a reconstrução e ampliação do Trapiche Eliezer Levy como parte do projeto Orla Viva**. 2025. Disponível em: <https://macapa.ap.gov.br/pautas/prefeito-de-macapa-dr-furlan-entrega-a-reconstrucao-e-ampliacao-do-trapiche-eliezer-levy-como-parte-do-projeto-orla-viva/>. Acesso em: 7 set. 2025.

PRUDENCIO IMPERMEABILIZAÇÕES. **Problemas com humidade ascendente? 5 questões básicas que deve saber.** 2025. Disponível em: <https://prudencio.pt/pt/problemas-com-humidade-ascendente/>. Acesso em: 15 out. 2025.

RILEM – Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux, Systèmes de Construction et Ouvrages. **CPC-18:** medição da profundidade da carbonatação em concreto endurecido. Paris: RILEM, [s.d.]. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/333660602/CPC-18-Medicao-da-Profundidade-da-Carbonatacao-em-Concreto-Endurecido>. Acesso em: 13/12/2025.

SILVA, E. A. **Técnicas de recuperação e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo - SP. 2006. Universidade Anhembi Morumbi, Curso de Graduação em Engenharia Civil, 2006. Monografia. Disponível em: https://www.academia.edu/19969193/Civil_46. Acesso em: 24/11/2025.

SILVA, E. M. A.; SANTOS, G. S.; OLIVEIRA, I. R. B.de; MAROTTA, L. I. M; MELO, R. A. de; PEDROSO, V. A. Métodos para restauração e reforço de estruturas de concreto armado. São Paulo-SP. 2022. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação (REASE)**, v. 8, n. 11, p. 2255-2286, 2022. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/7813/3060>. Acesso em: 24/11/2025.

SCHUSTER, I. D. **Estudo sobre eflorescências ocasionadas em alvenaria estrutural cerâmica.** Santa Cruz do Sul-RS. Universidade de Santa Cruz do Sul, 2022. Disponível em: <https://repositorio.unisc.br/jspui/bitstream/11624/3524/1/Igor%20Dalmolin%20Schuster.pdf>. Acesso em: 15 out. 2025.

UNICERP. Manifestações patológicas em estruturas de concreto armado: revisão da literatura nacional das causas, métodos de prevenção e soluções. 2025. Centro Universitário Central Paulista. **Revista Multiciência.** v. 24. 2025. Disponível em: <https://www.unicep.edu.br/multiciencia/manifesta%C3%A7%C3%B5es-patol%C3%B3gicas-em-estruturas-de-concreto-armado%3A-revis%C3%A3o-da-literatura-nacional-das-causas%2C-m%C3%A9todos-de-preven%C3%A7%C3%A3o-e-solu%C3%A7%C3%B5es>. Acesso em: 4 out. 2025.

APÊNDICE A – TABELAS COMPLETAS DO ENSAIO DE ESCLEROMETRIA

Tabela 1-A :Ensaio de esclerometria -Viga 1

PONTO	ÍNDICE		LEITURA	
	ESCLEROMÉTRICO	RESISTÊNCIAS	MÉDIA	APROVEITADOS
1	20	10,3	2,875	NÃO
2	24	14,9	1,125	14,9
3	18	N/D	4,875	NÃO
4	20	10,3	2,875	NÃO
5	30	23,3	7,125	NÃO
6	20	10,3	2,875	NÃO
7	30	23,3	7,125	NÃO
8	22	12,5	0,875	12,5
9	24	14,9	1,125	14,9
10	24	14,9	1,125	14,9
11	22	12,5	0,875	12,5
12	22	12,5	0,875	12,5
13	24	14,9	1,125	14,9
14	22	12,5	0,875	12,5
15	24	14,9	1,125	14,9
16	20	10,3	2,875	NÃO
K				1,05
DISPERSÃO MÉDIA				4,5
RESISTÊNCIA MÉDIA (MPa)				14,53
RESISTÊNCIA MÍNIMA (MPa)				10,03
RESISTÊNCIA MÁXIMA (MPa)				19,03

Fonte: As autoras

Tabela 2-A: Ensaio de esclerometria - Viga 2

PONTO	ÍNDICE		LEITURA	
	ESCLEROMÉTRICO	RESISTÊNCIAS	MÉDIA	APROVEITADOS
1	20	10,3	2,125	10,3
2	24	14,9	1,875	14,9
3	30	23,3	7,875	NÃO
4	26	17,5	3,875	NÃO
5	20	N/D	2,125	10,3
6	16	12,5	6,125	NÃO
7	22	12,5	0,125	12,5
8	20	10,3	2,125	10,3
9	20	12,5	2,125	10,3
10	20	10,3	2,125	10,3
11	20	12,5	2,125	10,3
12	22	12,5	0,125	12,5
13	24	14,9	1,875	14,9
14	24	12,5	1,875	14,9
15	22	14,9	0,125	12,5
16	24	14,9	1,875	14,9
K				1,05
DISPERSÃO MÉDIA				4,5
RESISTÊNCIA MÉDIA (MPa)				12,83
RESISTÊNCIA MÍNIMA (MPa)				8,33
RESISTÊNCIA MÁXIMA (MPa)				17,33

Fonte: As autoras

Tabela 3-A: Ensaio de esclerometria – Viga 3

PONTO	ÍNDICE		LEITURA	
	ESCLEROMÉTRICO	RESISTÊNCIAS	MÉDIA	APROVEITADOS
1	16	N/D	5,625	NÃO
2	24	14,9	2,375	NÃO
3	24	14,9	2,375	NÃO
4	22	12,5	0,375	12,5
5	24	14,9	2,375	NÃO
6	18	N/D	3,625	NÃO
7	24	14,9	2,375	NÃO
8	20	10,3	1,625	10,3
9	20	10,3	1,625	10,3
10	20	10,3	1,625	10,3
11	24	14,9	2,375	NÃO
12	22	12,5	0,375	12,5
13	22	12,5	0,375	12,5
14	20	10,3	1,625	10,3
15	22	12,5	0,375	12,5
16	24	14,9	2,375	NÃO
K				1,05
DISPERSÃO MÉDIA				4,5
RESISTÊNCIA MÉDIA (MPa)				11,97
RESISTÊNCIA MÍNIMA (MPa)				7,47
RESISTÊNCIA MÁXIMA (MPa)				16,47

Fonte: As autoras

Tabela 4-A: Ensaio de esclerometria - Viga 4

PONTO	ÍNDICE		LEITURA	
	ESCLEROMÉTRICO	RESISTÊNCIAS	MÉDIA	APROVEITADOS
1	22	12,5	0,125	12,5
2	22	12,5	0,125	12,5
3	25	16,2	2,875	NÃO
4	20	10,3	2,125	10,3
5	16	N/D	6,125	NÃO
6	22	12,5	0,125	12,5
7	28	20,3	5,875	NÃO
8	26	17,5	3,875	NÃO
9	25	16,3	2,875	NÃO
10	30	23,3	7,875	NÃO
11	22	12,5	0,125	12,5
12	22	12,5	0,125	12,5
13	20	10,3	2,125	10,3
14	20	10,3	2,125	10,3
15	18	N/D	4,125	NÃO
16	16	N/D	6,125	NÃO
K				1,05
DISPERSÃO MÉDIA				4,5
RESISTÊNCIA MÉDIA (MPa)				12,26
RESISTÊNCIA MÍNIMA (MPa)				7,76
RESISTÊNCIA MÁXIMA (MPa)				16,76

Fonte: As autoras

Tabela 5-A: Ensaio de esclerometria – Pilar 1

PONTO	ÍNDICE		LEITURA	
	ESCLEROMÉTRICO	RESISTÊNCIAS	MÉDIA	APROVEITADOS
1	24	14,9	0,125	14,9
2	26	17,5	2,125	17,5
3	26	17,5	2,125	17,5
4	22	12,5	1,875	12,5
5	28	20,3	4,125	NÃO
6	26	17,5	2,125	17,5
7	24	14,9	0,125	14,9
8	24	14,9	0,125	14,9
9	22	12,5	1,875	12,5
10	24	14,9	0,125	14,9
11	22	12,5	1,875	12,5
12	22	12,5	1,875	12,5
13	22	17,5	2,125	17,5
14	22	12,5	1,875	12,5
15	22	12,5	1,875	12,5
16	22	12,5	1,875	12,5
K				1,05
DISPERSÃO MÉDIA				4,5
RESISTÊNCIA MÉDIA (MPa)				15,20
RESISTÊNCIA MÍNIMA (MPa)				10,70
RESISTÊNCIA MÁXIMA (MPa)				19,70

Fonte: As autoras

Tabela 6-A: Ensaio de esclerometria – Pilar 2

PONTO	ÍNDICE			
	ESCLEROMÉTRICO	RESISTÊNCIAS	LEITURA MÉDIA	APROVEITADOS
1	24	14,9	0,75	14,9
2	20	10,3	3,25	NÃO
3	26	17,5	2,75	NÃO
4	24	14,9	0,75	14,9
5	24	14,9	0,75	14,9
6	22	12,5	1,25	12,5
7	20	10,3	3,25	NÃO
8	22	12,5	1,25	12,5
9	22	12,5	1,25	12,5
10	26	17,5	2,75	14,9
11	24	14,9	0,75	14,9
12	24	14,9	0,75	14,9
13	26	17,5	2,75	NÃO
14	26	17,5	2,75	NÃO
15	20	10,3	3,25	NÃO
16	22	12,5	1,25	12,5
K				1,05
DISPERSÃO MÉDIA				4,5
RESISTÊNCIA MÉDIA (MPa)				14,53
RESISTÊNCIA MÍNIMA (MPa)				10,03
RESISTÊNCIA MÁXIMA (MPa)				19,03

Fonte: As autoras

Tabela 7-A: Ensaio de esclerometria – Pilar 3

PONTO	ÍNDICE		LEITURA	
	ESCLEROMÉTRICO	RESISTÊNCIAS	MÉDIA	APROVEITADOS
1	28	20,3	0,875	20,3
2	18	N/D	9,125	NÃO
3	26	17,5	1,125	17,5
4	24	14,9	3,125	NÃO
5	24	14,9	3,125	NÃO
6	30	23,3	2,875	NÃO
7	24	14,9	3,125	NÃO
8	26	17,5	1,125	17,5
9	30	23,3	2,875	NÃO
10	26	17,5	1,125	17,5
11	30	23,3	2,875	NÃO
12	28	20,3	0,875	20,3
13	32	26,5	4,875	NÃO
14	30	23,3	2,875	NÃO
15	30	23,3	2,875	NÃO
16	28	20,3	0,875	20,3
K				1,05
DISPERSÃO MÉDIA				4,5
RESISTÊNCIA MÉDIA (MPa)				19,85
RESISTÊNCIA MÍNIMA (MPa)				15,35
RESISTÊNCIA MÁXIMA (MPa)				24,35

Fonte: As autoras

Tabela 8-A: Ensaio de esclerometria – Pilar 4

PONTO	ÍNDICE		LEITURA	
	ESCLEROMÉTRICO	RESISTÊNCIAS	MÉDIA	APROVEITADOS
1	30	23,3	4	NÃO
2	26	17,5	0	17,5
3	32	26,5	6	NÃO
4	26	17,5	0	17,5
5	20	10,3	6	NÃO
6	26	17,5	0	17,5
7	26	17,5	0	17,5
8	20	10,3	6	NÃO
9	34	30,0	8	NÃO
10	30	23,3	4	NÃO
11	30	23,3	4	NÃO
12	30	23,3	4	NÃO
13	20	10,3	6	NÃO
14	20	10,3	6	NÃO
15	26	17,5	0	17,5
16	20	10,3	6	NÃO
K				1,05
DISPERSÃO MÉDIA				4,5
RESISTÊNCIA MÉDIA (MPa)				18,38
RESISTÊNCIA MÍNIMA (MPa)				13,88
RESISTÊNCIA MÁXIMA (MPa)				22,88

Fonte: As autoras

Tabela 9-A: Ensaio de esclerometria – Laje 1

PONTO	ÍNDICES		LEITURA MÉDIA	APROVEITADOS
	ESCLEROMETRIC O	RESISTÊNCIAS		
1	40	48,1	3,5	48,1
2	36	39,9	0,5	39,9
3	34	36,1	2,5	36,1
4	36	39,9	0,5	39,9
5	38	43,9	1,5	43,9
6	38	43,9	1,5	43,9
7	38	43,9	1,5	43,9
8	36	39,9	0,5	39,9
9	36	39,9	0,5	39,9
10	36	39,9	0,5	39,9
11	30	29,1	6,5	NÃO
12	36	39,9	0,5	39,9
13	38	43,9	1,5	43,9
14	38	43,9	1,5	43,9
15	38	43,9	1,5	43,9
16	36	39,9	0,5	39,9
K				1,05
DISPERSÃO MÉDIA				7
RESISTÊNCIA MÉDIA (MPa)				43,88
RESISTÊNCIA MÍNIMA (MPa)				36,88
RESISTÊNCIA MÁXIMA (MPa)				50,88

Fonte: As autoras

Tabela 10-A: Ensaio de esclerometria – Laje 2

PONTO	ÍNDICES		LEITURA	
	ESCLEROMETRICO	RESISTÊNCIAS	MÉDIA	APROVEITADOS
1	18	N/D	11,125	NÃO
2	26	22,8	3,125	NÃO
3	30	29,1	0,875	29,1
4	26	22,8	3,125	NÃO
5	32	32,5	2,875	32,5
6	28	25,9	1,125	25,9
7	34	36,1	4,875	NÃO
8	28	25,9	1,125	25,9
9	32	32,5	2,875	32,5
10	28	25,9	1,125	25,9
11	30	29,1	0,875	29,1
12	32	32,5	2,875	32,5
13	32	32,5	2,875	32,5
14	30	29,1	0,875	29,1
15	30	29,1	0,875	29,1
16	30	29,1	0,875	29,1
K				1,05
DISPERSÃO MÉDIA				6,5
RESISTÊNCIA MÉDIA (MPa)				30,91
RESISTÊNCIA MÍNIMA (MPa)				24,41
RESISTÊNCIA MÁXIMA MPa)				37,41

Fonte: As autoras

Tabela 11-A: Ensaio de esclerometria – Laje 3

PONTO	ÍNDICES		LEITURA	
	ESCLEROMETRICO	RESISTÊNCIAS	MÉDIA	APROVEITADOS
1	40	48,1	2,25	48,1
2	30	29,1	7,75	NÃO
3	38	43,9	0,25	43,9
4	32	32,5	5,75	NÃO
5	40	48,1	2,25	48,1
6	40	48,1	2,25	48,1
7	40	48,1	2,25	48,1
8	34	36,1	3,75	36,1
9	36	39,9	1,75	39,9
10	42	52,5	4,25	NÃO
11	40	48,1	2,25	48,1
12	36	39,9	1,75	39,9
13	36	39,9	1,75	39,9
14	38	43,9	0,25	43,9
15	40	48,1	2,25	48,1
16	42	52,5	4,25	NÃO
K				1,05
DISPERSÃO MÉDIA				7
RESISTÊNCIA MÉDIA (MPa)				46,57
RESISTÊNCIA MÍNIMA (MPa)				39,57
RESISTÊNCIA MÁXIMA (MPa)				53,57

Fonte: As autoras

Tabela 12-A: Ensaio de esclerometria – Laje 4

PONTO	ÍNDICES		LEITURA	
	ESCLEROMETRICO	RESISTÊNCIAS	MÉDIA	APROVEITADOS
1	40	48,1	0,75	48,1
2	38	43,9	1,25	43,9
3	40	48,1	0,75	48,1
4	46	0	6,75	NÃO
5	40	48,1	0,75	48,1
6	38	43,9	1,25	43,9
7	38	43,9	1,25	43,9
8	44	57	4,75	NÃO
9	38	43,9	1,25	43,9
10	38	43,9	1,25	43,9
11	40	48,1	0,75	48,1
12	46	0,0	6,75	NÃO
13	36	39,9	3,25	39,9
14	34	36,1	5,25	NÃO
15	36	39,9	3,25	39,9
16	36	39,9	3,25	39,9
K				1,05
DISPERSÃO MÉDIA				7
RESISTÊNCIA MÉDIA (MPa)				46,52
RESISTÊNCIA MÍNIMA (MPa)				39,52
RESISTÊNCIA MÁXIMA (MPa)				53,52

Fonte: As autoras