



**ESTUDO COMPARATIVO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE
PARÂMETROS DE DURABILIDADE E DA EVOLUÇÃO APARENTE
DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS ENTRE OS ANOS DE 2013 E
2016 DO PIER DO PORTO DE PARANAGUÁ-PR.**

SÃO PAULO

2021

ALEXANDRE JORGE FOLTRAM



**ESTUDO COMPARATIVO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE
PARÂMETROS DE DURABILIDADE E DA EVOLUÇÃO APARENTE
DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS ENTRE OS ANOS DE 2013 E
2016 DO PIER DO PORTO DE PARANAGUÁ-PR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós-Graduação em Patologia das Obras Civas, Pós-Graduação lato sensu, do Instituto IDD como requisito parcial para a obtenção do Grau de Especialista em Patologia nas Obras Civas.

Prof. Orientador: Luis César S. De Luca, M.Sc.

SÃO PAULO

2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a minha família onde desde sempre me incentivou na continuidade dos estudos e sempre me apoio em todas as minhas decisões de vida. Agradeço imensamente ao professor De Luca, pelo acompanhamento e todo suporte oferecido nesses últimos meses. Os ensinamentos não foram meramente dedicados somente ao trabalho mas sim a exigência que se deve ter como profissional qualificado que estamos nos tornando. Meus sinceros agradecimentos também ao IDD que com todo seu corpo técnico, desde os professores aos coordenadores, que nos exigiram o máximo das nossas habilidades e com certeza fez com que nos tornássemos exigentes de nós mesmos, engenheiros e profissionais habilitados para se diferenciar no mercado de trabalho. Obrigado por extrair tudo de nós, obrigado por contribuir para o nosso futuro.

RESUMO

O presente trabalho possui como objetivo comparar os resultados dos ensaios, perfil de cloretos, concentração de sulfatos, esclerometria, e potencial de corrosão entre os anos de 2013 e 2016 do píer do porto de Paranaguá-PR. Concebido em meados dos anos 2000, com sua principal função o transporte de uréia e cloro, com seu funcionamento em ritmo intermitente, está localizado na costa do estado. Pertencente ao grupo Mosaic, tendo sua administração sendo parcialmente pertencente ao estado e parcialmente ao grupo privado, sua administração é majoritariamente pelo grupo privado. Para tanto, sua concepção estrutural é inteiramente em concreto armado e seu ambiente extremamente agressivo para a estrutura de concreto, classificada como V conforme NBR 6118/2013. Com isso verificou-se durante o período de 3 anos, conforme constatou-se nos relatórios de inspeção um agravamento das manifestações patológicas na ordem de 30% conforme ensaios dos parâmetros de durabilidade, tais como, teor do perfil de cloretos, concentração de sulfatos, esclerometria e potencial de corrosão. Tais ensaios realizados em ambos os relatórios, constatou-se o avanço significativo do grau de deterioração da estrutura, que devido à não intervenção, conforme inspeção em 2013, elevou o grau de criticidade dos elementos e o avanço dos agentes agressivos frente à estrutura. E, por fim, considerou-se que o breve estudo das análises dos documentos, processos, orçamentos e as diferentes diretrizes que foram necessárias para a correta intervenção foram determinantes em seu alto custo e sua elevada deterioração como é mostrado neste documento, os estudos orçamentários e comparativos das análises laboratoriais.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. **Representação das estruturas em contato com o mar tem maior vulnerabilidade nas zonas de variação da maré.** Fonte: HELENE, 2013.....21

Figura 2. **Representação esquemática do ataque de sulfatos.** Fonte: CEB, 1989.....23

Figura 3. **Representação do avanço da frente de carbonatação e alteração do pH do concreto no tempo.** Fonte: POSSAN, 2010.....26

Figura 4. **Esquema simplificado de corrosão de armadura por carbonatação.** Fonte: HELENE, 2013.....27

Figura 5. **Esquema da medida de potencial de corrosão.** Fonte: ASTM, 2009. 28

Figura 6. **Linhas equipotenciais nas medidas de potencial de corrosão em estruturas de concreto armado** Fonte: Bertolini et al. 2004.....29

Figura 7. **Vista externa do píer** Fonte: Laudo de manifestações patológicas – Píer de Paranaguá/PR, 2013.....31

Figura 8. **Vigas Longitudinais Lado A.** Fonte: Laudo de manifestações patológicas – Píer de Paranaguá/PR, 2013).....34

Figura 9. **Vigas Longitudinais Lado B.** Fonte: Laudo de manifestações patológicas – Píer de Paranaguá/PR, 2013).....34

Figura 10. **Vigas Centrais.** Fonte: Laudo de manifestações patológicas – Píer de Paranaguá/PR, 2013).....35

Figura 11. **Vigas Transversais.** Fonte: Laudo de manifestações patológicas – Píer de Paranaguá/PR, 2013).....35

Figura 12. **Presença de cloretos na estrutura de concreto armado.** Fonte: Laudo de manifestações patológicas – Píer de Paranaguá/PR, 2013).....36

Figura 13. **Apresentação geral do píer, parte inferior.** Fonte: Laudo de manifestações patológicas – Píer de Paranaguá/PR, 2013).....37

Figura 14. **Parte inferior do píer, vigas transversais e longitudinais.** Fonte: Laudo de manifestações patológicas – Píer de Paranaguá/PR, 2013).....37

Figura 15. **Manifestações patológicas, fissuras e manchas de corrosão das armaduras.** Fonte: Laudo de manifestações patológicas – Píer de Paranaguá/PR, 2013).....38

Figura 16. **Porosidade do concreto nas vigas do Pier.** Fonte: Laudo de manifestações patológicas – Píer de Paranaguá/PR, 2016).....38

Figura 17. **Desplacamento do concreto devido a corrosão das armaduras.** Fonte: Laudo de manifestações patológicas – Píer de Paranaguá/PR, 2016).....46

Figura 18. **Desplacamento generalizado no banzo inferior das vigas do Pier.** Fonte: Laudo de manifestações patológicas – Píer de Paranaguá/PR, 2016).....46

Figura 19. **Aumento das manifestações patológicas.** Fonte: Laudo de manifestações patológicas – Píer de Paranaguá/PR, 2016).....47

Figura 20. **Desagregação do concreto.** Fonte: Laudo de manifestações patológicas – Píer de Paranaguá/PR, 2016).....47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tabela 6.1 – Classes de agressividade ambiental (CAA).			
Fonte:	ABNT	NBR	6118,
2014.....			18
Tabela 2. Tabela 7.1 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e a qualidade do concreto. Fonte: ASSOCIAÇÃO			
BRASILEIRA	DE	NORMAS	TÉCNICAS,
2014.....			19
Tabela 3. Tabela 7.2 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e cobertura nominal Fonte: ASSOCIAÇÃO			
BRASILEIRA	DE	NORMAS	TÉCNICAS,
2014.....			20
Tabela 4. Requisitos para concreto exposto a soluções contendo sulfatos.			
	Fonte:	NBR	
6118:2014.....			24
Tabela 5. Classificação dos potenciais de corrosão de acordo com a ASTM C876.			
	Fonte:	ASTM,	
2009.....			30
Tabela 6. Teor de sulfato e cloreto em 2013. Fonte: Laudo de manifestações patológicas – Píer de Paranaguá/PR,			
2013.....			35
Tabela 7. Teor de sulfato e cloreto em 2013. Fonte: Laudo de manifestações patológicas – Píer de Paranaguá/PR,			
2013.....			35
Tabela 8. Resultados dos ensaios esclerométricos de 2013. Fonte: Laudo de manifestações patológicas – Píer de Paranaguá/PR,			
2013.....			36
Tabela 9. Medidas do potencial de corrosão. Fonte: Laudo de manifestações patológicas – Píer de Paranaguá/PR,			
2013.....			37

Tabela 10. **Resultados dos ensaios do potencial de corrosão em 2013.** Fonte: Laudo de manifestações patológicas – Píer de Paranaguá/PR, 2013.....38

Tabela 11. **Resultados da medição do pH em 2016.** Fonte: Laudo de manifestações patológicas – Píer de Paranaguá/PR, 2016.....39

Tabela 12. **Teor de sulfato e cloreto em 2016.** Fonte: Laudo de manifestações patológicas – Píer de Paranaguá/PR, 2016.....40

Tabela 13. **Resultados dos ensaios esclerométricos de 2016.** Fonte: Laudo de manifestações patológicas – Píer de Paranaguá/PR, 2016.....41

Tabela 14. **Medidas do potencial de corrosão.** Fonte: Laudo de manifestações patológicas – Píer de Paranaguá/PR, 2016.....42

Tabela 15. **Resultados dos ensaios do potencial de corrosão em 2016.** Fonte: Laudo de manifestações patológicas – Píer de Paranaguá/PR, 2016.....42

Tabela 16. Perfil de cloretos. Fonte: Autoria própria..... 43

Tabela 17. Teor de sulfatos. Fonte: Autoria Própria.....44

Tabela 18. Comparativo orçamentário. Fonte: Autoria própria.....45

SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	9
1. INTRODUÇÃO	11
1.1. Problema de pesquisa	12
1.2. Objetivos	12
1.2.1. Objetivo geral	12
1.2.2. Objetivo específico.....	12
1.3. Hipótese	13
1.4. Justificativas	13
1.4.1. Tecnológicas.....	13
1.4.2. Econômicas	13
1.4.3. Sociais	14
1.4.4. Ecológicas	14
1.5. Procedimentos metodológicos	14
1.6. Apresentação do trabalho.....	15
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1. Mecanismos de Degradação	16
2.2. Ataque por Cloretos	22
2.3. Ataque por sulfatos	23
2.3.1. Carbonatação.....	26
2.4. Ensaio Tecnológico e de parâmetros de durabilidade	29
3. ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS	35
3.1. Apresentação do caso e características	35
3.2. Apresentação dos relatórios	39
3.2.1. Relatório 01 (novembro/2013).....	39
3.2.2. Relatório 02 (julho/2016).....	48
3.3. Análise comparativa dos resultados	55

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	61
4.1. Considerações finais.....	61
4.2. Recomendações para futuros trabalhos	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65

1. INTRODUÇÃO

A temática principal deste trabalho é o estudo e análise do píer (de propriedade de uma empresa de direito privado, denominada **FOSPAR**), localizado em Paranaguá/PR, onde se decorreu mais de 06 (seis) anos entre diagnósticos e recuperação. Ao longo do tempo e devido a diversas dificuldades encontradas sendo, entre elas, baixa e alta maré, além da dificuldade de execução, temos um grande agravamento: os produtos descarregados pela empresa que são fertilizantes.

O presente estudo tem por finalidade o comparativo dos relatórios de inspeção técnica que contém as análises laboratoriais das mesmas tipologias em anos diferentes e, com isso, comparar seus resultados e prognósticos que foram determinantes para o aumento no custo e também no aumento dos serviços a serem realizados na região. O píer, que foi concebido em meados dos anos 2000, conta por uma parcialidade entre iniciativa privada e governo do estado do PR, é de uma importância fundamental na região pelo transporte de cloretos e ureia de uma costa a outra, funcionando 24 horas por dia. Estruturas deste porte têm por característica natural, uma obra de arte, onde é capaz de vencer grandes vãos, desafiar as leis da natureza e ser inserida dentro de um espaço aquático elevando sua classe de agressividade para a mais extrema, conforme NB6618 exemplifica muito bem. Para isso existem diversas tecnologias que são empregadas nos projetos e execuções para garantir durabilidade da estrutura de concreto armado e não levando somente em consideração sua resistência e execução.

Por muito tempo presumiu-se que estruturas de concreto armado eram duráveis, possuindo alta resistência e robustez em seus elementos, porém, ao passar do tempo, observou-se que para serem duráveis, as estruturas de concreto armado precisavam resistir, além dos esforços nelas projetas, a agressividade do ambiente, necessitando de manutenções corretas para conservar ou até mesmo elevar a vida útil.

Estruturas em ambiente agressivo onde não somente sofrem com a ação do ambiente, mas também do meio direto em contato, como estruturas inseridas dentro de regiões marítimas, requer uma atenção ao seu processo de

manutenção. Um processo de manutenção deve contar com inspeções periódicas em todos os sistemas, ligações e mecanismos de funcionamento do PIER, que irão elevar sua vida útil perante ao projeto inicial. Tal atividade deve ser de forma recorrente a fim de procurar determinar as corretas intervenções para que se mantenha o funcionamento e segurança do PIER. As manutenções não são somente importantes para a boa qualidade e durabilidade da estrutura, mas também para seus operários e para a sociedade que reside ao entorno da estrutura, fatores extremamente importantes que levariam muitos problemas aos moradores caso algum sistema ou colapso viesse a existir.

Com base no apresentado, o presente estudo visa determinar a relação do tempo com o agravamento das manifestações e suas causas relacionadas aos meios sustentáveis, ecológicos, econômicos e sociais.

1.1. Problema de pesquisa

Existiu uma evolução dos resultados dos ensaios supracitados entre os anos de 2013 e 2016 do PIER do Porto de Paranaguá-PR.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

Verificar a evolução dos grau de deterioração da estrutura frente aos ensaios de parâmetro de durabilidade realizados entre os anos de 2013 e 2016.

1.2.2. Objetivo específico

Comparar os resultados dos ensaios de perfil de cloretos, concentração de sulfatos, esclerometria, pH superficial do concreto e potencial de corrosão, entre os anos de 2013 e 2016, do PIER do Porto de Paranaguá-PR.

1.3. Hipótese

Presume-se que houve um agravamento significativo das manifestações patológicas de forma acelerada entre a primeira avaliação e a última.

1.4. Justificativas

Neste item serão apresentadas as justificativas tecnológicas, econômicas, sociais e ecológicas para a elaboração desse trabalho.

1.4.1. Tecnológicas

A correta identificação das causas de anomalias, patológicas ou não, é essencial para que sejam determinadas as corretas técnicas utilizadas durante as fases de elaboração de projetos, planejamento e construção de edificações e, também, de procedimentos para sua operação e uso, que incluem manutenção preventiva e corretiva, como reparos e recuperações, se necessários, visando o adequado desempenho da construção durante sua vida útil ou além.

1.4.2. Econômicas

A aplicação das corretas técnicas de execução, projeto e manutenção, irão elevar a vida útil da estrutura conforme grau de deterioração e necessidade da edificação. O correto procedimento, a fim de se garantir desempenho estrutural e uso deve ser feito ao longo do tempo segundo os parâmetros normativos e conforme especificações pelos projetistas e executores. Em classes de agressividades mais elevadas, considera-se imprescindível o cuidado com as corretas manutenções e, também, com os corretos procedimentos de reparos, reabilitações, considerações e materiais empregados.

1.4.3. Sociais

Estima-se que o desempenho esperado pela edificação garanta o bem social, habitacional e salubridade, onde a edificação esteja inserida.

1.4.4. Ecológicas

A presente e crescente preocupação mundial em relação à preservação do meio ambiente e execução de atividades de maneira sustentável envolve, notoriamente, os setores de construção e infraestrutura.

Estima-se que a construção civil responda por, aproximadamente, 75% dos recursos naturais extraídos, sendo o maior consumidor de recursos naturais dentre as atividades econômicas, causando, assim, um grande impacto no meio ambiente (TRIANA, 2007, apud GUTIERREZ; MACCAGNAN, 2017).

Assim sendo, ao contribuir para a correta execução de novas edificações e preservação das já existentes, de forma a atingir ou superar sua vida útil atendendo ao desempenho esperado, elimina ou reduz a necessidade de execução de novas obras, de forma a colaborar com a preservação do meio ambiente.

1.5. Procedimentos metodológicos

Para a realização deste trabalho, foi levantado todos os relatórios documentais necessários para determinar o comparativo entre o grau de agravamento das manifestações patológicas entre os anos de 2013 e 2016.

1.6. Apresentação do trabalho

O **Capítulo 1** – Apresenta o problema de pesquisa e seus objetivos, bem como tece as principais justificativas para a realização deste estudo e os procedimentos metodológicos a serem adotados.

O **Capítulo 2** – Apresenta-se a fundamentação teórica bem como os parâmetros dos ensaios tecnológicos de durabilidade das estruturas de concreto armado, que foram objetos de comparação neste estudo;

O **Capítulo 3** – Abordamos o estudo de caso, as análises dos resultados dos ensaios laboratoriais dos parâmetros de durabilidade dos dois relatórios e o estudo comparativo entre os resultados dos ensaios tecnológicos;

O **Capítulo 4** – Considerações finais e recomendações para futuros trabalhos;

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Após a apresentação da problemática tratada no presente trabalho, neste capítulo será abordada a fundamentação teórica necessária nos seguintes tópicos: durabilidade e vida útil do concreto, teor de sulfatos, teor de cloretos, profundidade de carbonatação, tipos de ensaios executados e, também, procedimentos de recuperações, o qual garante um desempenho esperado ao longo do tempo.

2.1. Mecanismos de Degradação

Anomalia é qualquer irregularidade ou anormalidade de um corpo, objeto, fenômeno, estrutura, formação, etc. De acordo com Knapp e Olivan (2019), as anomalias em construções podem ser classificadas em:

- a) Anomalia endógena ou congênita: originária por fatores inerentes à própria edificação, como projetos, materiais empregados e execução;
- b) Anomalia natural: originária de fenômenos da natureza, previsíveis ou não;
- c) Anomalia funcional: originária do seu uso;
- d) Anomalia exógena: originárias por fatores externos à edificação, provocados por agentes terceiros.

Heuko e Klassen (2019), determinam que o desempenho de uma edificação é a premissa de que o empreendimento atenderá a todas as necessidades do público para o qual foi projetado, que incluem, além de segurança, durabilidade, economia, habitabilidade e salubridade, o dever de exercer a sua função principal como moradia, hospital, escola, etc.

Segundo Gutierrez e Maccagnan (2017), a patologia das construções civis é a área que estuda qualquer fenômeno que afeta o desempenho de uma edificação. Tais fenômenos causam manifestações patológicas ou irregularidades, também denominadas anomalias, ou seja, sintomas resultantes de falhas em algumas das etapas do processo construtivo da edificação e mecanismos de degradação (RODRIGUES, 2013, apud GUTIERREZ; MACCAGNAN, 2017).

Assim, por analogia com a ciência médica, a patologia das construções é o ramo da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos de ocorrência, as causas e origens das doenças ou defeitos que ocorrem nas construções, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema (HELENE, 2011).

As estruturas e o seu material constituinte, concreto armado ou concreto protendido, assim como as criaturas humanas, podem padecer de males congênitos e adquiridos, bem como podem sofrer acidentes ao longo da sua vida (NORONHA, 1980, apud TOMAZELI, 2019).

O tratamento das estruturas exige do técnico encarregado, atributos e conhecimentos semelhantes daqueles exigidos do médico. Antes de qualquer outro atributo, o profissional que se propõe a “curar” estruturas deve a elas dedicar carinho, amizade e respeito. Ainda é indispensável, mesmo que conheça a fundo as manifestações patológicas que ocorrem nas estruturas, em função do meio inserido e dos efeitos mecânicos que ela sofre, as causas geradoras dos males e que saiba, também, através dos sintomas visíveis ou auscultáveis por meio de ensaios tecnológicos, emitir um diagnóstico seguro (TOMAZELI, 2019).

Conforme preconiza a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que, sob condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme projetado, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o prazo correspondente à sua vida útil.

O item 6.3 da NBR 6118 considera os principais mecanismos de envelhecimento e deterioração, seguir relacionados:

- a) Mecanismos preponderantes de deterioração relativos ao concreto:
 - i) Lixiviação: decorrentes da ação na superfície do concreto, carreando os compostos cimentícios por ação de águas puras, carbônicas agressivas, ácidas e outras;
 - ii) Expansão: decorrente do ataque por águas ou solos que contenham ou que estejam contaminados por sulfatos, resultando em reações

expansivas e deletérias com a pasta de cimento hidratado. A prevenção pode ser feita pelo uso de cimento resistente a sulfatos;

iii) Reação álcali-agregado: é uma expansão por ação das reações entre os álcalis do concreto e agregados reativos. O projetista deve identificar no projeto o tipo de elemento estrutural e sua situação quanto à presença de água, bem como deve recomendar as medidas preventivas, quando necessárias.

b) Mecanismos preponderantes de deterioração relativos a amadura:

i) Despassivação por carbonatação: é a despassivação por carbonatação, ou seja, por ação do gás carbônico da atmosfera sobre o aço da armadura. As medidas preventivas consistem em dificultar o ingresso dos agentes agressivos ao interior do concreto. O cobrimento das armaduras e o controle da fissuração minimizam este efeito, sendo recomendável um concreto de baixa porosidade.

ii) Despassivação por ação de cloretos: consistente na ruptura local da camada de passivação, causada por elevado teor de íons-cloreto. As medidas preventivas consistem em dificultar o ingresso dos agentes agressivos ao interior do concreto. O cobrimento de armaduras e o controle da fissuração minimizam este efeito, sendo recomendado o uso de um concreto de pequena porosidade. O uso de cimento composto com adição de escória ou material pozzolânico é também recomendável nestes casos.

c) Mecanismos de deterioração da estrutura propriamente dita: são todos aqueles relacionados às ações mecânicas, movimentações térmicas, impactos, ações cíclicas, retração, fluência e relaxação, bem como as diversas ações que atuam sobre a estrutura.

d) Agressividade do meio ambiente: a agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas

de origens térmicas, da retração hidráulica e de outras previstas no dimensionamento das estruturas.

Conforme preconiza a Norma Brasileira, através da NBR 6118, projeto de estruturas de concreto – procedimento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), em seu item 6.4, agressividade do ambiente, define que a agressividade ambiental deve ser classificada e pode ser avaliada, simplificadamente, segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes.

Ainda segundo a NBR 6118, item 6.4, a agressividade do meio ambiente ao qual está inserida uma construção e sua estrutura está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre estas, independentemente de ações mecânicas, variações volumétricas de origem, retrações hidráulicas e demais ações previstas no dimensionamento de estruturas em concreto armado.

Considerando tais fatores, a referida norma dispõe, em sua Tabela 6.1, classes de Agressividade Ambiental (CAA), tais classes de dívidas em níveis I, II, III e IV; suas respectivas agressividade; classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto; e risco de deterioração da estrutura, apresentada através da Tabela 1.

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.			

Tabela 1. Tabela 6.1 – Classes de agressividade ambiental (CAA) (ABNT NBR 6118, 2014).

De acordo com Tomazeli (2019), para o caso de concretos aparentes a ação do meio ambiente é mais agressiva, portanto, cuidados especiais devem ser tomados quanto à qualidade do projeto, da execução, da proteção e manutenção ao longo da vida útil da edificação. Pode-se elencar que os principais mecanismos de deterioração para estes tipos de concreto são:

- a) Carbonatação;
- b) Lixiviação;
- c) Retração;
- d) Fuligem e fungos;
- e) Ataque químico por cloretos, sulfatos ou outro tipo de contaminante.

Nas Tabelas 2 e 3 são apresentadas recomendações constantes na norma brasileira NBR 6118, relativas à qualidade do concreto e ao cobrimento nominal da armadura, ambos em função da classe de agressividade ambiental, para que seu comportamento seja adequado a esta agressividade e mecanismos de deterioração nestas presentes.

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.					

Tabela 2. Tabela 7.1 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e a qualidade do concreto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014).

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de Agressividade			
		I	II	III	IV
		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 ³ 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 ³ 45 mm.					

Tabela 3. Tabela 7.2 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014).

2.2. Ataque por Cloretos

É a ruptura local da camada de passivação, causada por elevado teor de íon- cloro. Helene (1993) a define como “uma interação destrutiva de um material com o meio ambiente, seja por ação química, física, eletroquímica, ou a combinação destas”. A corrosão das armaduras é um processo eletroquímico que tem como consequência a deterioração do aço, causando a perda de funcionalidade (TORRES, 2011).

O cobrimento das armaduras e o controle de fissuração minimizam esse efeito, sendo recomendável o uso de um concreto de pequena porosidade (NBR 6118, 2014).

Na natureza, a situação mais agressiva ao concreto armado é pretendido é a região de variação e respingos de maré sujeita a molhagens e secagens (figura 3). Já do ponto de vista de produtos e substâncias industriais são os ácidos os mais agressivos. Os cloretos, por exemplo, penetram nos poros do concreto e despassivam as armaduras promovendo a corrosão. Esse fenômeno é muito mais rápido do que a ação dos sulfatos da água do mar ou de esgoto sobre o concreto (HELENE, 2013).

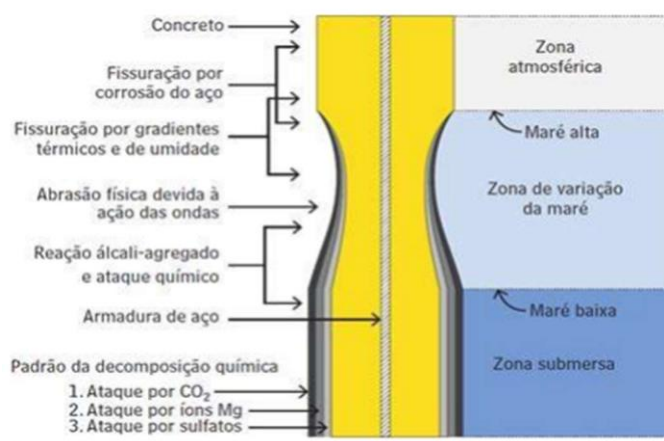


Figura 1. Representação das estruturas em contato com o mar tem maior vulnerabilidade nas zonas de variação da maré. Fonte: (HELENE, 2013)

A concentração de cloretos necessária para promover a corrosão é fortemente afetada pelo pH do concreto. Portanto, os efeitos da interação da carbonatação com os íons-cloretos levam a uma aceleração da velocidade da

corrosão, quando comparada com a ocorrência dos ataques de forma independente (LAPA, 2008).

2.3. Ataque por sulfatos

Os sulfatos são encontrados na água do mar, nas águas subterrâneas e nos esgotos industriais. Geralmente os sulfatos estão presentes em áreas planas, onde os sais se acumularam ao longo do tempo sem serem levados por fluxos de água subterrâneas. É usual que neste tipo de solo agressivo ocorra a deposição de uma camada esbranquiçada na superfície, que pode ser tomada como um indicativo da presença do problema.

Na maior parte das vezes, os íons sulfato se originam da decomposição, por hidrólise, de sais presentes no solo ou na água, marinha ou subterrânea.

A água do mar também apresenta concentrações de sulfatos que podem desencadear o processo agressivo, degradando o concreto. O ataque é mais intenso nas zonas em que ocorrem oscilações de nível, com variações nas condições de saturação, pois este fenômeno ocasiona a cristalização cíclica dos sais nos poros, incrementando a agressão.

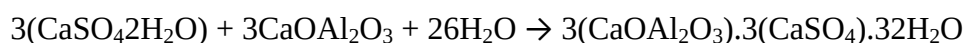
A contaminação por sulfatos pode ser aérea. Perry e Slater (1981) indicam o dióxido de enxofre como um dos poluentes mais comuns presentes na atmosfera, apontando como suas fontes mais prováveis: as combustões domésticas, as emissões das usinas termelétricas, das refinarias de petróleo, das olarias e das usinas de aço e ferro.

Quando a exposição aos sulfatos, ocorre no concreto uma expansão que pode, com o tempo, levar à fissuração, à fragilização e ao lascamento das camadas exteriores e, eventualmente, a completa desintegração do material, causando o colapso da peça. Geralmente a agressão se inicia pelos cantos e arestas, se espalha superficialmente e, por fim, vai penetrando progressivamente na peça. Durante este processo ocorre geralmente uma perda da rigidez e da resistência do concreto. Segundo o Boletim 183 do CEB (1992), esta sintomatologia, mostrada na Figura 9, deriva do fato de que os íons SO_4

penetrando na rede de poros do concreto, se combinam com os aluminatos especialmente o C3A provocando uma expansão.

Observando a equação 1 que representa a reação química entre os sulfatos e os aluminatos, pode-se verificar a ocorrência de formação de etringita, que absorve diversas moléculas de água e, conseqüentemente, ocupa um maior volume, podendo provocar o aparecimento de tensões que causam a deterioração do concreto. Este é o mecanismo clássico pelo qual se explica o ataque de sulfatos.

Equação 1 – Formação de etringita



Paralelamente a ação de corrosão do concreto, os íons sulfato podem ainda se constituir em elementos agressivos à armadura. Segundo Andrade (1992), mesmo não apresentando a mesma agressividade dos cloretos, os íons sulfatos também exercem ação despassivante, sendo recomendável determinar seus teores no ambiente de exposição antes de definir o efetivo cobrimento de uma peça.

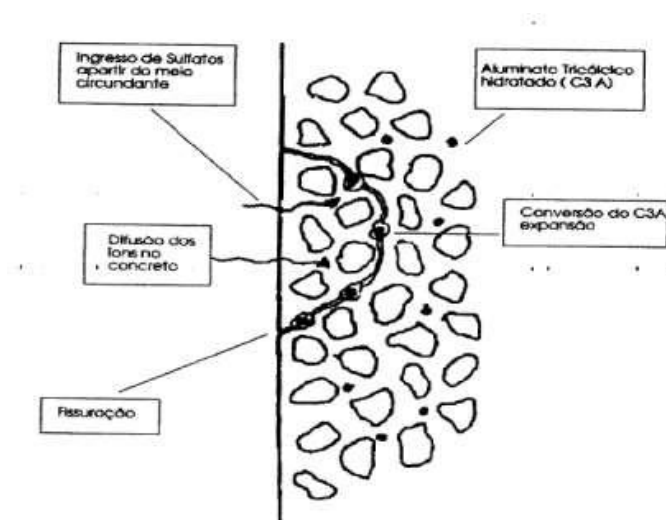


Figura 2. Representação esquemática do ataque de sulfatos. (CEB, 1989)

O desenvolvimento da agressão por sulfatos passa por 02 (dois) estágios, segundo Calleja (1980). O primeiro, de natureza física, corresponde ao período de difusão dos sulfatos da solução para dentro da matriz do concreto. Este processo é lento e depende diretamente das características de porosidade do

concreto sob ataque. Desta forma, a taxa de agressão durante este período inicial depende dos fatores que governam a porosidade do concreto.

O segundo estágio é de natureza química e corresponde ao processo de reação entre os compostos hidratados da pasta, o íon sulfato e o cátion correspondente. Neste estágio a estrutura dos concretos tende a sofrer degradações violentas e rápidas, e o conteúdo de C3A passa a ser relevante.

Segundo Helene (1988) a classificação da agressividade do meio ambiente pode ser dada de forma rigorosa, quando é baseada na concentração efetiva do agente agressor, e de forma indireta, quando se baseia apenas nas condições de exposição a que o material está submetido.

Geralmente as normas buscam enquadrar os ambientes em categorias progressivamente agressivas, conforme o teor de íon sulfato presente. A partir da definição destas categorias de ambientes, as normas adotam uma posição prescritiva, indicando os tipos de cimentos a utilizar e, usualmente, valores mínimos ou máximos para grandezas como a quantidade mínima de cimento ou a relação a/c.

Na ABNT NBR 12655:2015, no item 5.2.2.3 “concretos expostos a solos ou soluções contendo sulfatos devem ser preparados com cimento resistente a sulfatos de acordo com a ABNT NBR 16.697, e atender ao que estabelece na TABELA 1 - requisitos para concreto exposto a soluções contendo sulfatos. (NBR 6118:2014 - tabela 4 na norma), no que se refere a relação água/cimento e a resistência característica à compressão do concreto (FCK):

a) cimento de moderada resistência aos sulfatos (MRS), com teor de C3A limitado a 8%.

b) cimento de alta resistência a sulfatos (ARS), com teor de C3A máximo inferior a 5%.

A degradação do concreto como resultado da reação entre os compostos de cimento hidratado existentes no concreto e os íons sulfatos oriundos de uma fonte externa e carregados pela água pode assumir duas manifestações distintas:

- a) expansão do concreto;
- b) perda progressiva de resistência, rigidez e massa.

Condições de exposição em função da agressividade	Sulfato solúvel em água (SO ₄) presente no solo % em massa	Sulfato solúvel (SO ₄) presente na água ppm	Máxima relação água/cimento, em massa, para concreto com agregado normal ^a	Mínimo f_{ck} (para concreto com agregado normal ou leve) MPa
Fraca	0,00 a 0,10	0 a 150	Conforme Tabela 2	Conforme Tabela 2
Moderada ^b	0,10 a 0,20	150 a 1 500	0,50	35
Severa ^c	Acima de 0,20	Acima de 1 500	0,45	40

^a Baixa relação água/cimento ou elevada resistência podem ser necessárias para a obtenção de baixa permeabilidade do concreto ou proteção contra a corrosão da armadura ou proteção a processos de congelamento e degelo.

^b A água do mar é considerada para efeito do ataque de sulfatos como condição de agressividade moderada, embora o seu conteúdo de SO₄ seja acima de 1500 ppm, devido ao fato de que a etringita é solubilizada na presença de cloretos.

^c Para condições severas de agressividade, devem ser obrigatoriamente usados cimentos resistentes a sulfatos.

Tabela 4. Requisitos para concreto exposto a soluções contendo sulfatos. (Fonte: NBR 6118:2014).

As duas manifestações podem ocorrer concomitantemente, sendo que a predominância de uma delas é função da concentração e da origem dos íons sulfato, assim como da percentagem e constituição química do cimento constituinte do concreto.

2.3.1. Carbonatação

Carbonatação é o processo de transformação do gás carbônico (CO₂), dos compostos do cimento hidratado em carbonatos, denominado carbonatação do concreto. A carbonatação acontece naturalmente em estruturas de concreto expostas aa ação do dióxido de carbono, o qual difunde na superfície do concreto e, em presença da umidade dos poros, forma a frente de carbonatação.

A carbonatação não prejudica o concreto por si só. Pelo contrário, concretos carbonatos são mais resistentes e impermeáveis à penetração de agentes agressivos, que os mesmos concretos não carbonatos (HELENE, 1993).

O problema ocorre quando se reduz a alcalinidade da solução presente nos poros ao redor das armaduras. O concreto possui um pH da ordem de 12,5, principalmente por causa do Ca(OH)₂ – hidróxido de cálcio. O desaparecimento do hidróxido de cálcio do interior dos poros da pasta de cimento hidratado e sua

transformação em carbonato de cálcio faz baixar o pH da solução em equilíbrio de 12,5 para 9,4, fator importante para o início de corrosão das armaduras (LAPA, 2008).

O CO_2 – dióxido de carbono – penetra da superfície para o interior, a medida que a carbonatação inicia-se na superfície do concreto e penetra lentamente para seu interior. Em concreto de mediana qualidade, observa-se que a velocidade da carbonatação varia entre 1 a 3mm por ano. (SILVA, 1995 apud LAPA, 2008).

Na Figura 1 constatou-se que a carbonatação inicia da superfície e avança para o interior do concreto. E como há a redução do pH, ocorre a alteração da alcalinidade e a porosidade do material, devido a entrada dos carbonatos. Com o avanço da frente da carbonatação, identificou-se uma zona de não carbonatação, uma de parcialmente carbonatação e uma zona já carbonatada. No início, a zona não carbonatada, está com seu pH integro.

Conforme o CO_2 vai ingressando na estrutura, há reação com o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) e é formado o carbonato de cálcio (CaCO_3), e o pH do concreto é reduzido. Quando esse processo chega próximo da armadura, diz-se que a mesma está despassivada e fica suscetível à corrosão. Nesse último estágio, a estrutura atingiu a vida útil de projeto (HELENE, 1993). Na Figura 1, há um demonstrativo simplificado da ação da carbonatação perante o concreto e a armadura, e na Figura 2, pode-se ver um exemplo de ensaio, onde foi identificada a frente de carbonatação.

Há a opção de proteger a superfície, a fim de prevenir a carbonatação, aplicando barreiras espessas como reboco, revestimentos com pedras ou cerâmicas, além de pinturas, que evitam a entrada do CO_2 (LAPA, 2008).

Segundo (HELENE, 2013), essa estratégia tem uma boa relação custo por benefício, além de ser eficiente.

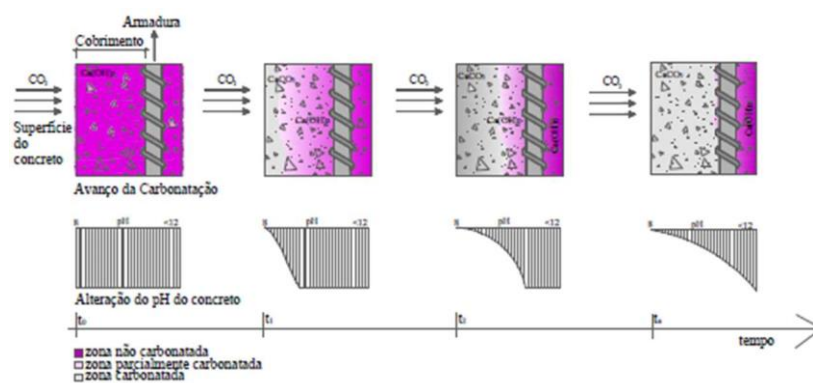


Figura 3. Representação do avanço da frente de carbonatação e alteração do pH do concreto no tempo.

Fonte: POSSAN, 2010

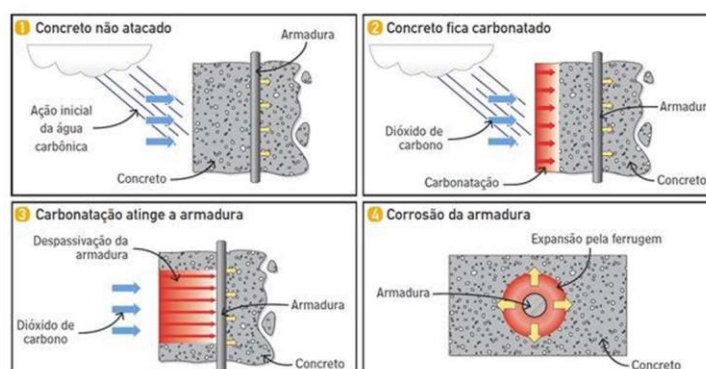


Figura 4. Esquema simplificado de corrosão de armadura por carbonatação. Fonte: (HELENE, 2013)

2.4. Ensaios Tecnológicos e de parâmetros de durabilidade

Neste trecho, explica-se os procedimentos dos ensaios tecnológicos para parâmetros de durabilidade realizados nos relatórios entre 2013 e 2016.

2.4.1.1. Determinação do perfil de íons de cloretos

É um ensaio onde é extraído da estrutura, por meio de uma perfuração mecânica, o resíduo de concreto. Este material é colhido em recipientes plásticos e levado em laboratório para análise do perfil de íons de cloreto presente naquela região do elemento.

2.4.1.2. Determinação do teor de sulfatos

O ensaio consiste em extrair um testemunho da estrutura e analisar suas camadas a fim de se determinar a profundidade de ingresso e o teor de sulfatos em quantidades inadmissíveis para se tratar as camadas do concreto prejudicado.

2.4.1.3. Ensaio do índice Esclerométrico

A avaliação da dureza superficial do concreto pelo esclerômetro de reflexão é prescrita pela NBR 7584, sendo aplicável na verificação de uniformidade, comparação de características de um dado concreto com um referencial e para estimativas de resistência à compressão, sempre com o propósito de investigar a qualidade do concreto endurecido.

O Esclerômetro Schmidt tipo N, desenvolvido com base em conceitos de dureza “shore” por Ernest Schmidt (Zurich) é o mais utilizado no Brasil.

Permitem estabelecer uma correlação entre a resistência à compressão e a dureza superficial. O ensaio é baseado no princípio de que a reflexão de uma massa elástica, lançada contra uma superfície, depende da dureza desta superfície.

A energia de impacto é parcialmente consumida na deformação plástica permanente e em parte refletida elasticamente, causando o retorno do martelo quanto mais duro, mais resistente o material – maior a reflexão elástica.

A aferição do equipamento é realizada com o emprego de uma bigorna especial de aço, com massa de aproximadamente 16 kg, com dureza brinell de 50 GPa, que forneça índices esclerométricos de cerca de 80%.

O ensaio de esclerometria tem os seguintes procedimentos conforme a ABNT NBR 7584:2012

I. Recomendações:

- ✓ Evitar leituras a distância < 5 cm das arestas;
- ✓ Efetuar no mínimo 9 leituras em cada área;
- ✓ Não realizar mais de 1 impacto no mesmo ponto;
- ✓ Usar distância mínima entre impactos de 3 cm;
- ✓ Nunca fazer ensaio em peças com menos de 14 dias. Ideal mínimo 28 dias.

II. Preparo da superfície:

- ✓ As superfícies de concreto devem ser secas e limpas e preferencialmente planas;
- ✓ Superfícies irregulares não fornecem resultados homogêneos;
- ✓ Superfícies úmidas devem ser evitadas.

III. Aferição do esclerômetro:

- ✓ O esclerômetro deve ser aferido antes de sua utilização ou a cada 300 impactos realizados;
- ✓ Para aferição utiliza-se uma bigorna especial de aço. A cada inspeção deverão ser feitos pelo menos 10 impactos na bigorna e eles devem fornecer índices esclerométricos próximos de 80.

IV. Fator de correção:

- ✓ O fator de correção do índice esclerométrico é obtido pela equação:

$FC = 80$ (ou valor fornecido pelo fabricante) / média dos valores dos impactos na bigorna de aço 5.

V. Posição do Esclerômetro:

✓ Vertical pra cima, vertical pra baixo ou horizontal.

VI. Cálculo: IE (índice esclerométrico médio)

✓ Calcular a média aritmética dos valores obtidos no ensaio (Média I);

✓ Desprezar todo índice individual que esteja afastado em mais de 10% do valor médio obtido;

- ✓ Calcular a média novamente com os valores restantes (Média II);
- ✓ Calcular o índice esclerométrico corrigido ($Média II \times FC$)
- ✓ Entrar na Tabela de Esclerometria e determinar a resistência da peça ensaiada (se não houver o número exato na tabela, fazer uma INTERPOLAÇÃO).

2.4.1.4. *Determinação do potencial de corrosão das armaduras*

Segundo Meira (2017) “a técnica do potencial de corrosão se baseia na diferença de potencial entre a armadura e um eletrodo de referência que, para aplicações de campo, costuma ser um eletrodo de cobre-sulfato de cobre. Esse eletrodo é posicionado na superfície do concreto, conectado ao polo negativo de um voltímetro de alta impedância, cujo polo positivo é ligado à armadura, conforme se apresenta na figura 11”.

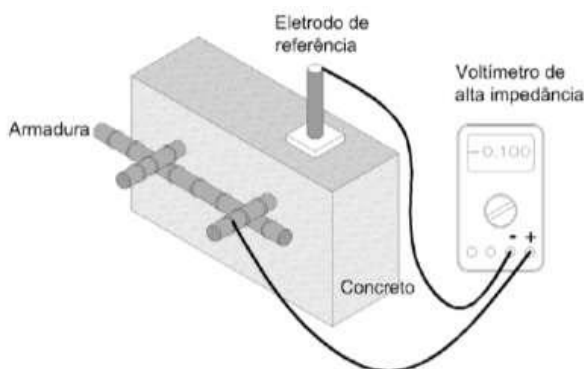


Figura 5. Esquema da medida de potencial de corrosão (ASTM, 2009).

Conforme Meira (2017) a medida pode ser influenciada por:

- a) Teor de umidade do concreto – conforme o concreto se encontre seco ou úmido, as medidas de potencial podem variar significativamente. Em função disso, recomenda-se uma umidificação prévia do concreto antes da realização desse tipo de medida.
- b) Espessura do cobrimento da armadura – o potencial que se mede na superfície do concreto não é o mesmo ao nível da armadura. Há uma atenuação da medida, conforme pode ser visto na figura 12, que mostra as linhas equipotenciais.

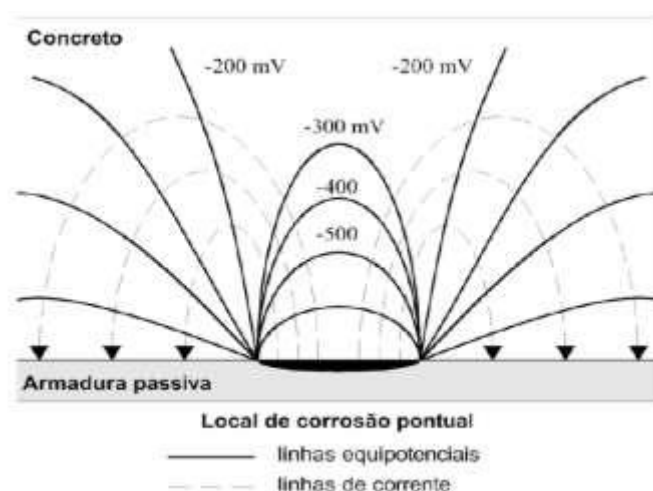


Figura 6. Linhas equipotenciais nas medidas de potencial de corrosão em estruturas de concreto armado (Bertolini et al. 2004)

- c) Correntes erráticas – a presença de interferências elétricas externas pode resultar em medidas de potencial significativamente diferentes das habituais sem esse tipo de interferência.
- d) Carbonatação do concreto – a carbonatação do concreto densifica o material superficialmente, diminuindo a porosidade e, portanto, a quantidade de eletrólito. Quando a carbonatação não chega ao nível da armadura, é possível que haja uma diminuição, em módulo, das medidas de potencial devido a uma menor quantidade de eletrólito.
- e) Quantidade de sais no eletrólito – a presença de sais dissolvidos na solução dos poros do concreto facilita o fluxo de corrente. Assim, se um concreto tem uma concentração iônica maior em seu eletrólito, é possível a medida de potenciais mais eletronegativos.

As medidas de potencial são medidas qualitativas sobre o processo de corrosão, uma vez que não fornecem informações sobre sua velocidade. Nesse sentido, essas medidas são avaliadas de acordo com a probabilidade que o processo de corrosão tem de que este esteja ocorrendo ou não. A norma ASTM C 876 (ASTM, 2009) considera a classificação apresentada na TABELA 6. No entanto, como o potencial depende de uma série de variáveis, é importante considerar aspectos particulares de cada estrutura quando da interpretação dos resultados.

Potencial – E (mV-ESC)	Probabilidade de corrosão
E > -200	< 10%
-200 > = E > = -350	Incerteza em relação à corrosão
E < -350	>90%

Tabela 5. Classificação dos potenciais de corrosão de acordo com a ASTM C876 (ASTM, 2009)

2.4.1.1. *Ensaio de alcalinidade do concreto*

A alcalinidade do concreto é obtida a partir do ensaio colorimétrico, que identifica até qual região ou camada do concreto está carbonatada, e que não oferece mais a proteção às armaduras, permitindo a despassivação das mesmas.

Para a realização desse ensaio, é preparada a solução de fenolftaleína, contendo a fenolftaleína, o álcool etílico, e água potável. É feita uma abertura manual do concreto, em determinados pontos das peças/elementos a serem analisados, e em espessuras equivalentes aos cobrimentos. É feita uma limpeza do local com pincel limpo, para deixar o local isento de pó, ou outro material que possa interferir no resultado, e pulverizada a solução indicada.

Para interpretar o resultado da solução aplicada, nas áreas onde não houve carbonatação, ou seja, quando o pH está alcalino, o concreto fica com a coloração rosada. Já quando a solução entra em contato com as regiões onde há sinal de carbonatação, com o pH abaixo de 10, o concreto fica incolor, indicando a presença de carbonatação. O fenômeno de carbonatação dá-se pela ação dos gases ácidos da atmosfera, que penetram no concreto pela sua porosidade, e

reagem com o hidróxido de cálcio, hidróxido de sódio e hidróxido de potássio. O resultado dessa reação é a formação de carbonatos e água, que provocam a queda do pH, dando início à frente da carbonatação.

Segundo (POSSAN, 2010), o ingresso de CO₂ através do concreto depende de inúmeros fatores. Os fatores estão diretamente relacionados aos materiais de construção, ao processo construtivo, e às condições ambientais em que a estrutura está inserida.

3. ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS

Este capítulo abordará os comparativos dos resultados dos ensaios realizados in loco entre o período de 2013 e 2016.

3.1. Apresentação do caso e características

Construído no ano 2000, através do programa do governo do estado do Paraná, administrado pelo grupo Mosaic e gerido pela empresa FOSPAR, o píer é constituído por 16 blocos de sustentação e mais de 150 vigas transversais e longitudinais, com 2.120,00 m² de construção em concreto armado.

Sua principal atividade é o transporte de ureia e cloretos, que são a atividade principal da estrutura. Com isso, além da matéria prima armazenada e transportada, a agressividade do ambiente onde o píer está inserido é caracterizado como a mais agressiva dentre elas, conforme fundamentação acima dita.

Contudo, os blocos de sustentação, suas vigas transversais e longitudinais foram os elementos que mais sofreram em decorrência do uso e agressividade do ambiente, conforme relatórios e comparativos abaixo. Seus pilares, os quais são revestidos com perfis metálicos, não foram objeto de análise destes relatórios e, com isso, não pode-se afirmar se sofreram, ou não, danos causados pelo ambiente ou pelos materiais transportados.

Devido ao alto grau de avanço das manifestações patológicas ao longo do tempo e, conforme mensurado e analisado nos relatórios, pode-se afirmar que o maior risco analisado dentre as atividades foi da empresa executora, pela mão de obra e pela logística envolvida para assegurar que todos os processos da recuperação fossem respeitados e seguidos de forma assertiva para devolver a estrutura a condição global de durabilidade e desempenho.

Oscilações de marés, ambiente de trabalho limitado e de alto risco a integridade dos trabalhadores, logística dos equipamentos, dosagem dos materiais, instalações, curas, proteções e etc, tudo deveria estar dentro dos padrões normativos internacionais para que o produto final da recuperação fosse de extrema excelência.

Portanto, o maior desafio em si, ao longo do tempo, devido ao avanço da manifestações de forma exponencial em um curto espaço temporal, também foi um fator predominante na tomada de decisão para que a empresa fosse capaz de executar a obra de forma a garantir toda sua integridade de equipe e, também, integridade final do píer.

Abaixo foto ilustrativa do PIER no ano de 2016:



Figura 7. Vista externa do píer (Fonte: Laudo de manifestações patológicas – Píer de Paranaguá/PR, 2013)

Abaixo, apresenta-se os croquis elaborados como forma de mapeamento das vigas longitudinais, transversais do PIER sob análise de estudos, presente nos relatórios emitidos pela empresa LAP POWER, situada na cidade de Sorocaba/SP.

Na figura 8 e 9, apresenta-se o croqui referente as vigas longitudinais laterais e seu grau de criticidade, de acordo com as vistorias realizadas pela empresa Lap Power.

Apresenta-se os croquis elaborados para auxílio nas inspeções técnicas:

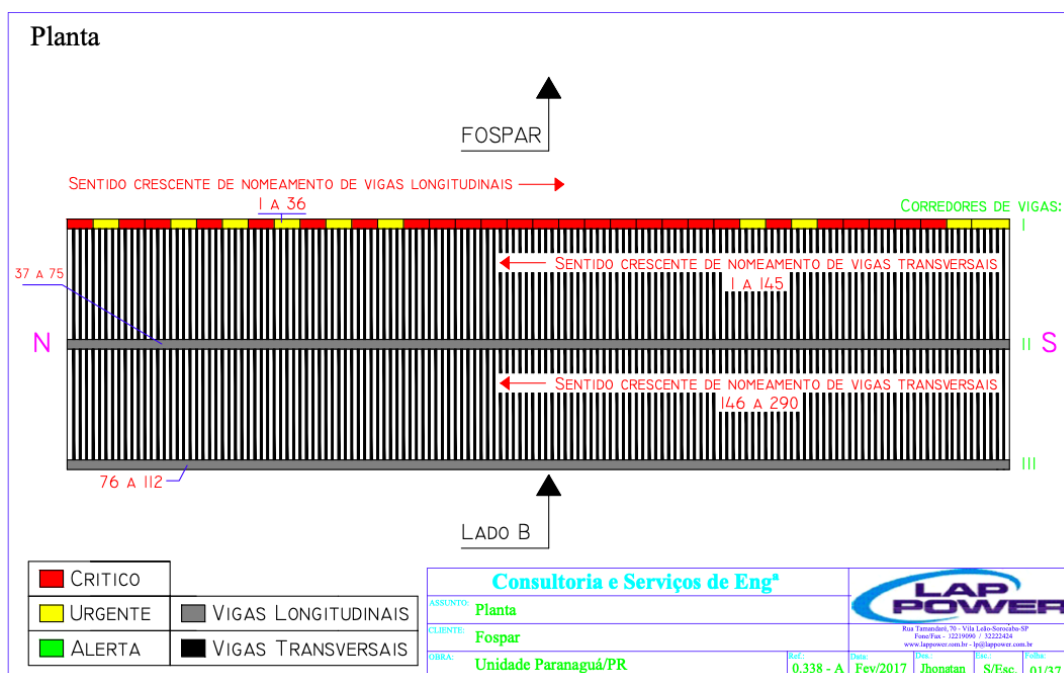


Figura 8. Vigas Longitudinais Lado A – Laudo de manifestações patológicas – Píer de Paranaguá/PR, 2013)

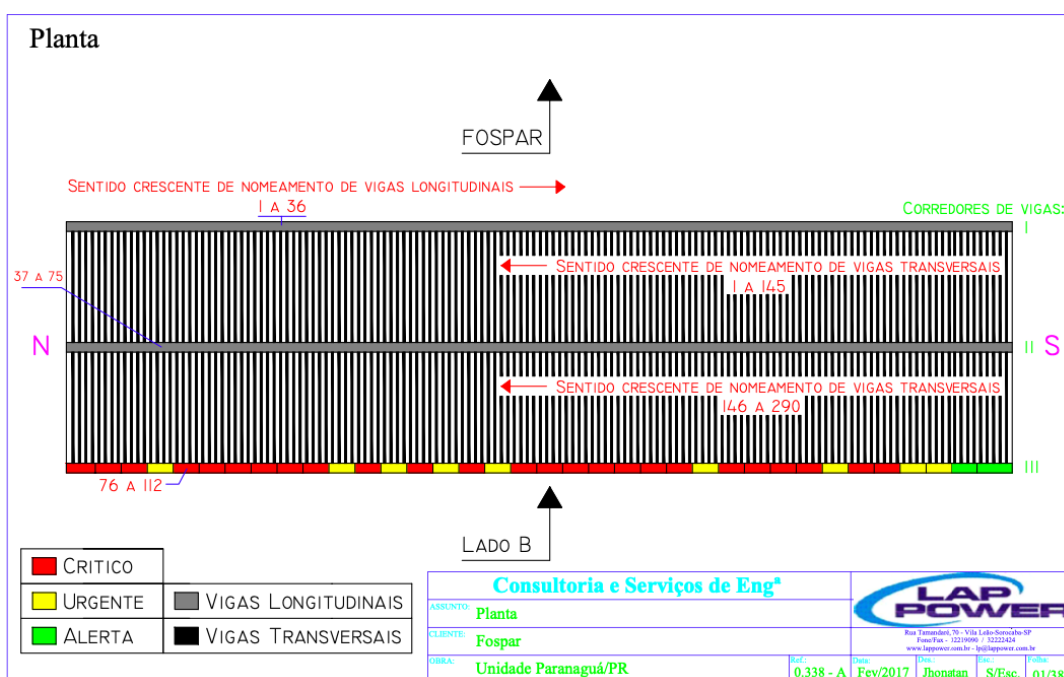


Figura 9. Vigas Longitudinais Lado B – Laudo de manifestações patológicas – Píer de Paranaguá/PR, 2013)

Na Figura 10 e 11, apresenta-se os croquis elaborados da vigas longitudinais centrais e das vigas transversais e seu grau de criticidade, de acordo com os relatórios e inspeções realizadas in-loco pela empresa Lap Power.

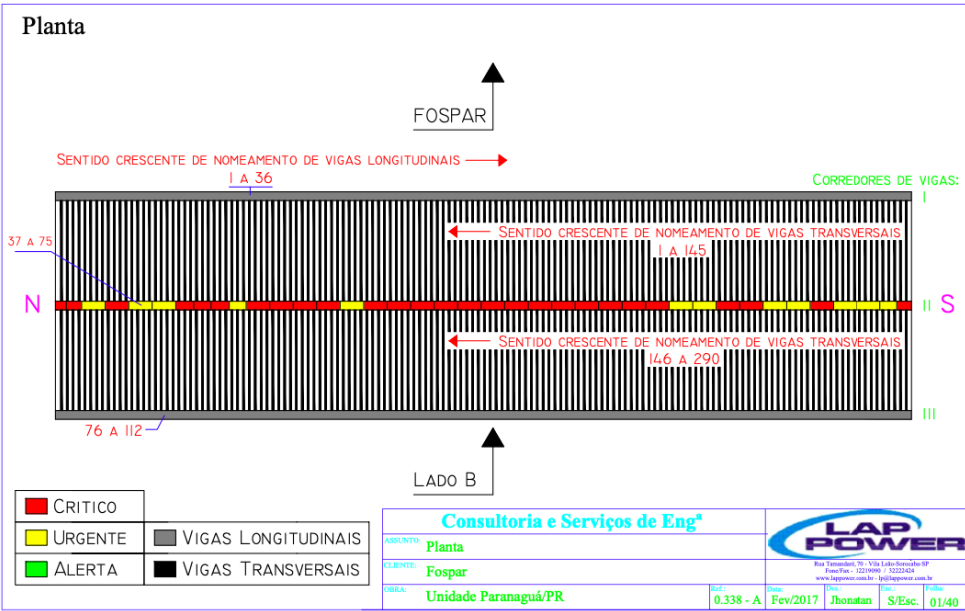


Figura 10. Vigas Centrais – Laudo de manifestações patológicas – Píer de Paranaguá/PR, 2013)

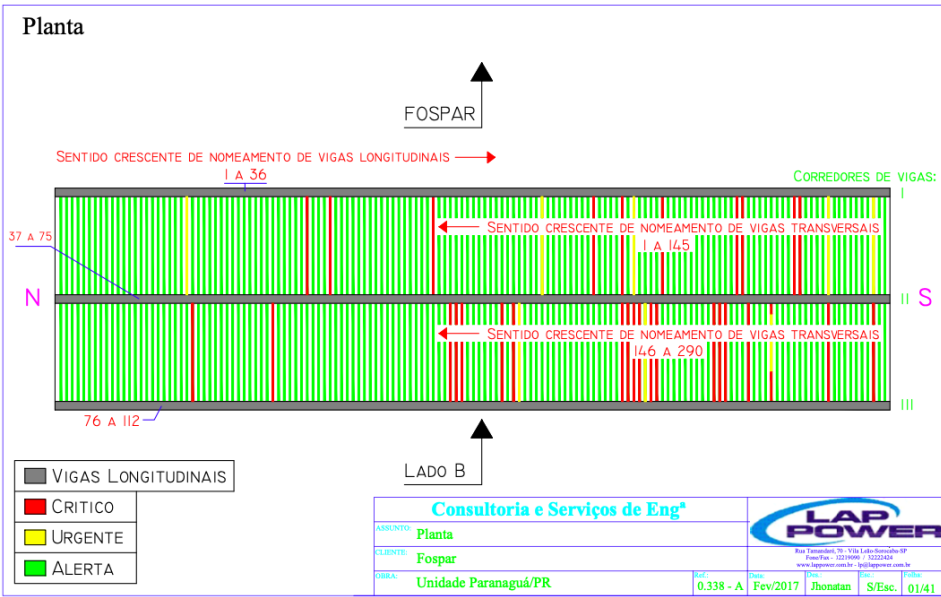


Figura 11. Vigas Transversais – Laudo de manifestações patológicas – Píer de Paranaguá/PR, 2013)

3.2. Apresentação dos relatórios

Apresenta-se abaixo os relatórios referente ao PIER e a análise documental das inspeções e análises laboratoriais realizadas entre os anos de 2013 e 2016 pela empresa LAP Power.

3.2.1. Relatório 01 (novembro/2013)

Este relatório foi realizado em fevereiro de 2013, com o período de análise de 14 de outubro de 2012 a 20 de outubro de 2012. As atividades foram desenvolvidas com base em inspeção visual e ensaios laboratoriais.

Abaixo, apresenta-se algumas figuras ilustrativas do relatório de 2013.



Figura 12. Presença de cloretos na estrutura de concreto armado.

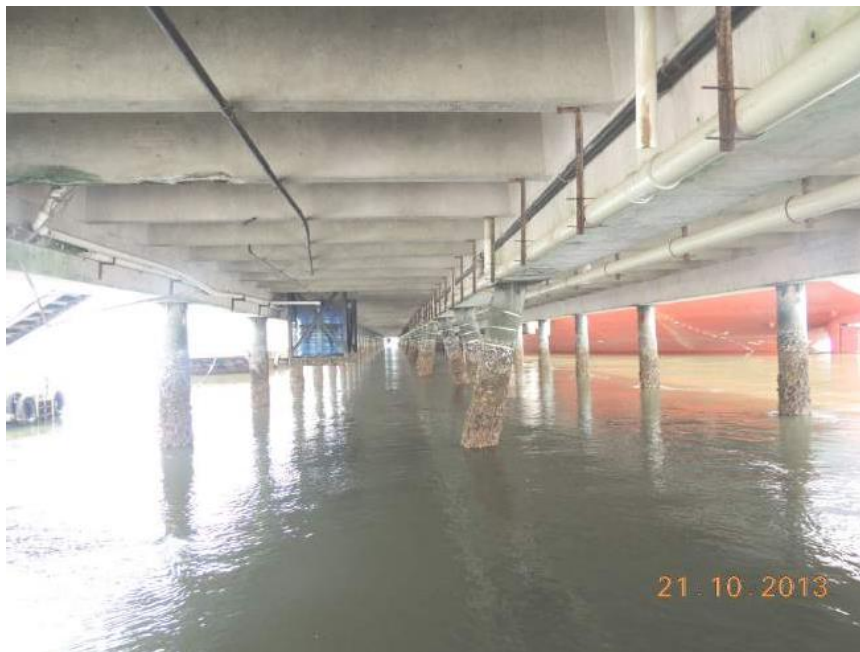


Figura 13. Apresentação geral do píer, parte inferior, vigas transversais.



Figura 14. Parte inferior do píer, vigas transversais e longitudinais, vigas transversais.



Figura 15. Manifestações patológicas, fissuras e manchas de corrosão das armaduras, vigas longitudinais.

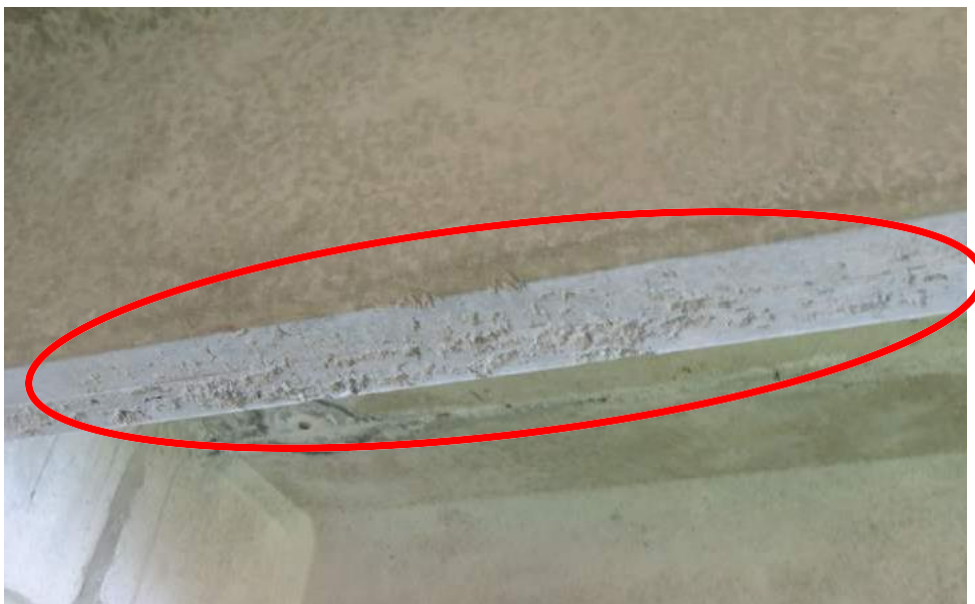


Figura 16. Porosidade do concreto nas vigas do Pier, vigas longitudinais.

Para a realização das atividades em campo pela face inferior do píer optou-se pela utilização de barcos tipo voadores (pequena lancha) para inspeção visual e para execução de ensaios utilizaram-se marrecas (flutuantes) sempre com apoio dos colaboradores FOSPAR.

- a. Resultados dos Ensaios laboratoriais: Teor de cloretos e sulfatos;
- b. Resultados dos Ensaios in-loco: esclerometria, pH do concreto e potencial de corrosão;

3.2.1.1. Resultados dos teores de Cloretos e Sulfatos

A partir de 0,4% o cloreto de cálcio é de grave risco, provocando a corrosão das armaduras e/ou cabos de protensão, porém, no cloreto de sódio, a gravidade se inicia a partir de 0,1%. O cloreto de cálcio chega ao concreto que envolve as armaduras durante a concretagem, através da água, da areia, da brita. Quando presente no concreto em teores elevados, o íon cloro é tido como principal agente agressivo no processo de corrosão das armaduras. Os cloretos podem estar presentes no concreto por impregnação ou incorporação. Quando presentes por impregnação, adentram no concreto a partir da ação da névoa salina ou também pelo contato entre a superfície do concreto e produtos contendo cloro; ou por incorporação, quando acompanham algum constituinte do concreto (impurezas dos agregados, aditivos aceleradores etc.).

Quanto aos sulfatos, se presentes no concreto em proporções elevadas, provoca desagregação do mesmo por degradar os componentes do cimento.

As amostras retiradas de diversas vigas foram devidamente identificadas e submetidas aos ensaios químicos, utilizando-se reagentes e equipamentos específicos, adotando-se a metodologia prescrita pelo boletim nº 25 do IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas.

Para análise dos resultados dos teores de cloretos foi adotado o critério preconizado pela **NBR 12655** que exige um teor de 0,15%. Para analisar o teor de sulfatos foi adotado o critério prescrito no Decreto Lei nº 407/71

da República Portuguesa, o qual estabelece o limite de 3,5%.

Para determinar se os índices de Sulfato nas amostras são aceitos é realizada uma verificação, da % de sulfato em relação a massa do cimento. As amostras não podem apresentar índices superiores ao limite máximo de 0,03% conforme estabelecido pela norma NBR 13583 (ABNT, 2014).

Os índices dos Cloretos Totais se calcula quantos % destes cloretos se tem em relação a massa do cimento, sendo que o limite máximo é de 0,15% conforme estabelecido pelo American Concrete Institute – ACI 318-11 “Building Code Requirements for Structural Concrete”.

A seguir, observa-se na Tabela 7, os resultados dos ensaios de teores de cloreto e sulfato:

Amostra	Localização	Teor de Sulfato	Teor de Cloreto
Pier	Viga Longitudinal	0,015	0,250
Pier	Viga Longitudinal	0,029	0,188
Pier	Viga Longitudinal	0,110	0,156
Pier	Viga Longitudinal	0,001	0,430
Pier	Viga Longitudinal	0,093	0,310
Pier	Viga Longitudinal	0,001	0,430
Pier	Viga Longitudinal	0,056	0,360
Pier	Viga Longitudinal	0,024	0,130
Pier	Viga Transversal	0,023	0,050
Pier	Viga Transversal	0,046	0,002
Pier	Viga Transversal	0,037	0,025
Pier	Viga Transversal	0,110	0,045
Pier	Viga Transversal	0,030	0,020
Pier	Viga Transversal	0,001	0,002
Pier	Viga Transversal	0,014	0,010

Tabela 7. Teor de sulfato e cloreto em 2013. (Fonte: Laudo de manifestações patológicas – Pier de Paranaguá/PR, 2013)

3.2.1.2. Resultados do Ensaio Esclerométrico

O ensaio de esclerometria tem o desiderato de verificar a resistência superficial do concreto conforme **NBR 7584** item 1 “... avaliação da dureza superficial do concreto endurecido pelo uso do esclerômetro de reflexão e se aplica às condições expressas no anexo A (A1 O método esclerométrico não deve ser considerado substituto de outros métodos, mas um método adicional ou um ensaio complementar)”. Abaixo, na Tabela 8, apresenta-se os resultados dos ensaios dos índices esclerométricos.

O ensaio de esclerometria segue as diretrizes e procedimentos conforme a ABNT NBR 7584:2012

Peça	Impacto	Posição	Resistência superficial (média) – MPA
Viga Longitudinal	9	90°	55,27
Viga Longitudinal	9	90°	59,12
Viga Longitudinal	9	90°	57,69
Viga Longitudinal	9	90°	52,79
Viga Longitudinal	9	90°	51,89
Viga Longitudinal	9	90°	49,78
Viga Longitudinal	9	90°	50,23
Viga Longitudinal	9	90°	57,7
Viga Longitudinal	9	90°	57,4
Viga Longitudinal	9	90°	55,7
Viga Transversal	9	90°	50,7
Viga Transversal	9	90°	55,3
Viga Transversal	9	90°	54,1
Viga Transversal	9	90°	53,6
Viga Transversal	9	90°	58,7
Viga Transversal	9	90°	52,2
Viga Transversal	9	90°	54,1
Viga Transversal	9	90°	53,4
Viga Transversal	9	90°	47,5
Viga Transversal	9	90°	51,3

Tabela 8. Resultados dos ensaios esclerométricos de 2013. (Fonte: Laudo de manifestações patológicas – Píer de Paranaguá/PR, 2013)

3.2.1.3. Resultados dos ensaios de pH superficial do concreto

O cimento hidratado possui um pH de aproximadamente 12,5. Este pH protege o aço contra a corrosão. Porém, o hidróxido de cálcio de concreto reage com o gás carbônico da atmosfera, conforme a equação $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ reduzindo para 9 o pH da massa do concreto, tornando possível a corrosão da armadura. Com isso, conforme ensaios realizados obteve-se um resultado conforme ilustrado na Tabela 6, entre 12,1 e 13,0 .

Local	PH
Lado A – Viga da estaca 112	12,3
Lado A – Viga da estaca 81	12,1
Meio – Viga da estaca 25	12,9
Meio – Viga entre estaca 38 e 41	13,0

Tabela 6. Teor de sulfato e cloreto em 2013. (Fonte: Laudo de manifestações patológicas – Píer de Paranaguá/PR, 2013)

3.2.1.4. *Potencial de Corrosão*

O ensaio foi realizado utilizando-se o equipamento modelo LC-4, fabricado pela M.C. Miller Co., Inc., que consiste de um eletrodo de referência cobre-sulfato de cobre e de um milivoltímetro de alta impedância.

Nas áreas previamente estabelecidas, foram traçadas malhas com dimensões de 10x10 cm e, através de retiradas do cobrimento em um único ponto desta malha, pode-se ter acesso à armadura, possibilitando a conexão elétrica das barras. Os pontos de medição foram previamente umedecidos e empregado o eletrodo de referência, procedendo-se as leituras após a estabilização.

Os resultados obtidos foram analisados de acordo com o estabelecido na **ASTM C- 876-87** - “Standard Test Method for Half - Cell Potentials of Uncoated Reinforced Steel in Concrete”, conforme segue:

Faixa de Potencial (mV)	Probabilidade de existência de corrosão
Mais positivo que - 200	Menor que 10%
Entre - 200 e - 350	Incerta
Mais negativo que - 350	Maior que 90%

Tabela 9. Medidas do potencial de corrosão. (Fonte: Laudo de manifestações patológicas – Pier de Paranaguá/PR, 2013)

Peça	Potencial medido (mV)															Probabilidade de corrosão
VT	-287	-245	-292	-318	-325	-298	-302	-314	-224	-310	-336	-304	-319	-281	-321	Incerta
VT	-54	-98	-77	-59	-63	-102	-79	-87	-92	-85	-83	-68	-72	-70	-101	Menor que 10%
VT	-325	-294	-270	-302	-318	-250	-292	-278	-313	-198	-307	-312	-273	-211	-258	Incerta
VT	-290	-233	-248	-312	-294	-302	-284	-227	-289	-266	-270	-208	-302	-278	-257	Incerta
VT	-93	-102	-118	-83	-98	-139	-158	-120	-92	-104	-174	-153	-135	-114	-123	Menor que 10%
VT	-377	-394	-368	-360	-402	-395	-385	-373	-392	-407	-418	-398	-400	-378	-390	Maior que 90%
VT	-362	-368	-389	-375	-360	-374	-390	-408	-399	-385	-367	-365	-382	-368	-393	Maior que 90%
VT	-390	-397	-374	-403	-401	-393	-378	-394	-360	-382	-380	-391	-400	-377	-398	Maior que 90%
VT	-417	-412	-397	-382	-419	-360	-389	-380	-395	-422	-390	-392	-385	-397	-403	Maior que 90%
VL	-62	-69	-53	-40	-72	-63	-55	-56	-90	-78	-65	-60	-64	-70	-73	Menor que 10%
VL	-383	-390	-387	-373	-375	-392	-408	-399	-381	-352	-395	-386	-407	-385	-371	Maior que 90%
VL	-370	-382	-364	-398	-395	-419	-399	-372	-397	-413	-425	-398	-384	-392	-386	Maior que 90%
VL	-150	-182	-171	-170	-163	-158	-183	-175	-181	-184	-142	-172	-169	-177	-168	Menor que 10%
VL	-455	-398	-412	-433	-401	-397	-391	-418	-447	-430	-421	-406	-378	-384	-407	Maior que 90%
VL	-361	-375	-382	-370	-392	-374	-380	-396	-359	-371	-389	-392	-381	-373	-399	Maior que 90%
VL	-408	-432	-398	-392	-446	-432	-427	-409	-397	-411	-414	-395	-390	-362	-387	Maior que 90%
VL	-289	-301	-307	-274	-318	-309	-198	-207	-336	-319	-342	-316	-304	-297	-318	Incerta
VL	-260	-262	-284	-278	-264	-298	-305	-311	-294	-270	-272	-308	-294	-281	-283	Incerta
VL	-372	-378	-360	-392	-389	-374	-349	-372	-379	-384	-380	-392	-401	-387	-408	Maior que 90%
VL	-172	-184	-169	-154	-182	-182	-171	-183	-162	-151	-164	-159	-178	-182	-187	Menor que 10%
VL	-354	-362	-398	-351	-394	-390	-384	-394	-402	-417	-380	-393	-379	-385	-391	Maior que 90%
VL	-400	-383	-407	-415	-397	-408	-419	-382	-399	-392	-394	-401	-373	-392	-398	Maior que 90%
VL	-392	-387	-370	-398	-413	-418	-403	-387	-391	-393	-385	-362	-389	-383	-390	Maior que 90%

Tabela 10. Resultados dos ensaios do potencial de corrosão em 2013. (Fonte: Laudo de manifestações patológicas – Píer de Paranaguá/PR, 2013)

- VL: Vigas Longitudinais / VT: Vigas Transversais

3.2.2. Relatório 02 (julho/2016)

Este relatório foi realizado em julho de 2016. O documento de referência e auxílio para tal foi o relatório 01, realizado em fevereiro de 2013. As atividades desenvolvidas com base na inspeção visual e em ensaios laboratoriais.

Inicialmente, foi realizado o planejamento das atividades, que teve por objetivo estabelecer os recursos a serem utilizados, incluindo os acessos, o plano de amostragem e ensaios, além da necessidade de ensaios especiais. Esta atividade foi desenvolvida após inspeção visual, para identificação das manifestações patológicas na estrutura.

Após esta etapa deu-se início as atividades de campo, onde a avaliação do quadro clínico foi dividido em duas modalidades distintas, a saber: inspeção visual, que objetivou o levantamento detalhado da atual situação da estrutura, por meio de avaliação visual e do registro minucioso das anomalias constatadas; e inspeção por meio de ensaios, que complementou os levantamentos efetuados pela inspeção visual, procedendo-se investigação mais aprofundada dos aspectos que despertam maior preocupação entre as anomalias observadas. Essa investigação foi realizada por meio de ensaios de campo e coleta de amostras para ensaios laboratoriais.

Neste capítulo, apresenta-se os resultados dos ensaios realizados no ano de 2016.

- a. Resultados dos Ensaios laboratoriais: Teor de cloretos e sulfatos;
- b. Resultados dos Ensaios in-loco: esclerometria, pH do concreto e potencial de corrosão;

Abaixo, apresenta-se algumas figuras ilustrativas do relatório de 2016.



Figura 17. Deslocamento do concreto devido a corrosão das armaduras, vigas longitudinais.



Figura 18. Deslocamento generalizado no banzo inferior das vigas do Pier, vigas longitudinais.



Figura 19. Aumento das manifestações patológicas, vigas transversais.



Figura 20. Desagregação do concreto, vigas longitudinais

3.2.2.1. Resultados dos ensaios dos teores de cloretos e sulfatos

Para análise dos resultados dos teores de cloretos foi adotado o critério preconizado pela **NBR 12655** que exige um teor de 0,15%. Para analisar o teor de sulfatos foi adotado o critério prescrito no Decreto Lei no 407/71 da República Portuguesa, o qual estabelece o limite de 3,5%.

Abaixo, na Tabela 12, apresenta-se os resultados dos ensaios do teor de cloretos e sulfatos:

Amostra	Localização	Teor de Sulfato	Teor de Cloreto
Píer	Viga Longitudinal	0,020	0,325
Píer	Viga Longitudinal	0,038	0,244
Píer	Viga Longitudinal	0,143	0,203
Píer	Viga Longitudinal	0,001	0,559
Píer	Viga Longitudinal	0,121	0,403
Píer	Viga Longitudinal	0,001	0,559
Píer	Viga Longitudinal	0,073	0,468
Píer	Viga Longitudinal	0,031	0,169
Píer	Viga Transversal	0,030	0,065
Píer	Viga Transversal	0,060	0,003
Píer	Viga Transversal	0,048	0,033
Píer	Viga Transversal	0,143	0,059
Píer	Viga Transversal	0,039	0,026
Píer	Viga Transversal	0,001	0,003
Píer	Viga Transversal	0,018	0,013

Tabela 12. Teor de sulfato e cloreto em 2016. (Fonte: Laudo de manifestações patológicas – Píer de Paranaguá/PR, 2016)

3.2.2.2. Resultados dos índices esclerométricos

O ensaio de esclerometria tem o desiderato de verificar a resistência superficial do concreto conforme **NBR 7584** item 1 “...avaliação da dureza superficial do concreto endurecido pelo uso do esclerômetro de reflexão e se aplica às condições expressas no anexo A (A1 O método esclerométrico não deve ser considerado substituto de outros métodos, mas um método adicional ou um ensaio complementar)”. Abaixo, na Tabela 13, apresenta-se os resultados dos ensaios dos índices esclerometricos.

Peça	Impacto	Posição	Resistência superficial (média) – MPA
E 112	16	90°	49,4
E 25-28	16	90°	47,8
E 10-11	16	90°	51,1
E 22-17	16	90°	49,5

Tabela 13. Resultados dos ensaios esclerométricos de 2016. (Fonte: Laudo de manifestações patológicas – Pier de Paranaguá/PR, 2016)

3.2.2.3. Resultados dos ensaios de Ph superficial do concreto

O cimento hidratado possui um pH de aproximadamente 12,5. Este pH protege o aço contra a corrosão. Porém, o hidróxido de cálcio de concreto reage com o gás carbônico da atmosfera, conforme a equação $\text{Ca(OH)}_2\text{-CO}_2\text{-CaCO}_3\text{-H}_2\text{O}$ reduzindo para 9 o pH da massa do concreto, tornando possível a corrosão da armadura, Com isso, conforme ensaios realizados obteve-se um resultado conforme ilustrado na Tabela 11, entre 10,4 e 11,3 .

Local	PH
Lado A – Viga da estaca 112	11,0
Lado A – Viga da estaca 81	10,4
Meio – Viga da estaca 25	11,0
Meio – Viga entre estaca 38 e 41	11,1

Tabela 11. Resultados da medição do pH em 2016. (Fonte: Laudo de manifestações patológicas – Pier de Paranaguá/PR, 2016)

3.2.2.4. Resultados dos ensaios de potencial de corrosão

O ensaio foi realizado utilizando-se o equipamento modelo LC-4 fabricado pela M.C. Miller Co., Inc., que consiste de um eletrodo de referência cobre-sulfato de cobre e de um milivoltímetro de alta impedância.

Nas áreas previamente estabelecidas, foram traçadas malhas com dimensões de 10x10 cm e através de retiradas do cobrimento em um único ponto desta malha, teve acesso a armadura, possibilitando a conexão elétrica das barras. Os pontos de medição foram previamente umedecidos e empregado o eletrodo de referência, procedendo-se as leituras após a estabilização.

Os resultados obtidos foram analisados de acordo com o estabelecido na **ASTM C- 876-87** - “Standard Test Method for Half - Cell Potentials of Uncoated Reinforced Steel in Concrete”, conforme segue:

Faixa de Potencial (mV)	Probabilidade de existência de corrosão
Mais positivo que - 200	Menor que 10%
Entre - 200 e - 350	Incerta
Mais negativo que - 350	Maior que 90%

Tabela 14. Medidas do potencial de corrosão (Fonte: Laudo de manifestações patológicas – Píer de Paranaguá/PR, 2016)

Peça	POTENCIAL MEDIDO (mV)															Probabilidade de corrosão
VT	-373,1	-318,5	-379,6	-413,4	-422,5	-387,4	-392,6	-408,2	-291,2	-403	-436,8	-395,2	-414,7	-365,3	-417,3	Maior que 90%
VT	-70,2	-127,4	-100,1	-76,7	-81,9	-132,6	-102,7	-113,1	-119,6	-110,5	-107,9	-88,4	-93,6	-91	131,3	Incerta
VT	-422,5	-382,2	-351	-392,6	-413,4	-325	-379,6	-361,4	-406,9	-257,4	-399,1	-405,6	-354,9	-274,3	-335,4	Maior que 90%
VT	-377	-302,9	-322,4	-405,6	-382,2	-392,6	-369,2	-295,1	-375,7	-345,8	-351	-400,4	-392,6	-361,4	-334,1	Maior que 90%
VT	-120,9	-132,6	-153,4	-107,9	-127,4	-180,7	-205,4	-156	-119,6	-135,2	-226,2	-198,9	-175,5	-148,2	-159,9	Incerta
VT	-490,1	-512,2	-478,4	-468	-522,6	-513,5	-500,5	-484,9	-309,6	-529,1	-543,4	-517,4	-520	-491,4	-507	Maior que 90%
VT	-470,6	-478,4	-505,7	-487,5	-468	-486,2	-507	-510,4	-518,7	-500,5	-477,1	-474,5	-496,6	-478,4	-510,9	Maior que 90%
VT	-507	-516,1	-486,2	-523,9	-521,3	-510,9	-491,4	-512,2	-468	-496,6	-494	-508,3	-520	-490,1	-517,4	Maior que 90%
VT	-542,1	-535,6	-516,1	-496,6	-544,7	-468	-505,7	-494	-513,5	-548,6	-507	-509,6	-500,5	-516,1	-521,9	Maior que 90%
VL	-80,6	-89,7	-68,9	-52	-93,6	-81,9	-71,5	-72,8	-117	-101,4	-84,5	-78	-83,2	-91	-94,9	Incerta
VL	-497,9	-507	-501,1	-484,9	-487,5	-509,6	-530,4	-518,7	-495,3	-457,6	-513,5	-501,8	-529,1	-500,5	-482,3	Maior que 90%
VL	-481	-496,6	-473,2	-517,4	-513,5	-544,7	-518,7	-483,6	-316,1	-536,9	-552,5	-517,4	-499,2	-509,6	-501,8	Maior que 90%
VL	-195	-236,6	-222,3	-221	-211,9	-205,4	-237,9	-227,5	-235,3	-239,2	-184,6	-223,6	-219,7	-230,1	-218,4	Incerta
VL	-591,5	-517,4	-535,6	-562,9	-521,3	-516,1	-508,3	-543,4	-581,1	-559	-547,3	-527,8	-491,4	-499,2	-529,1	Maior que 90%
VL	-469,3	-487,5	-496,6	-481	-509,6	-486,2	-494	-514,8	-466,7	-482,3	-505,7	-509,6	-495,3	-484,9	-518,7	Maior que 90%
VL	-530,4	-561,6	-517,4	-509,6	-579,8	-561,6	-555,1	-531,7	-516,1	-534,3	-538,2	-513,5	-507	-470,6	-501,1	Maior que 90%
VL	-375,7	-391,3	-399,1	-356,2	-413,4	-401,7	-257,4	-269,1	-436,8	-414,7	-444,6	-410,8	-395,2	-386,1	-411,4	Maior que 90%
VL	-338	-340,6	-369,2	-361,4	-343,2	-387,4	-396,5	-404,3	-382,2	-351	-353,6	-400,4	-382,2	-365,3	-367,9	Maior que 90%
VL	-483,6	-491,4	-468	-509,6	-505,7	-486,2	-453,7	-483,6	-492,7	-499,2	-494	-509,6	-521,3	-503,1	-530,4	Maior que 90%
VL	-223,6	-239,2	-219,7	-200,2	-236,6	-236,6	-222,3	-237,9	-210,6	-196,3	-213,2	-206,7	-231,4	-236,6	-243,1	
VL	-460,2	-470,6	-517,4	-456,3	-512,2	-507	-499,2	-512,2	-522,6	-542,1	-494	-510,9	-492,7	-500,5	-508,3	Maior que 90%
VL	-520	-497,9	-529,1	-539,5	-516,1	-530,4	-544,7	-496,6	-518,7	-509,6	-512,2	-521,3	-484,9	-508,6	-517,4	Maior que 90%

Tabela 15. Resultados dos ensaios do potencial de corrosão em 2016. (Fonte: Laudo de manifestações patológicas – Píer de Paranaguá/PR, 2016)

- VT: vigas transversais / VL: Vigas Longitudinais

3.3. Análise comparativa dos resultados

Estudo comparativo dos resultados dos ensaios (Teor de cloretos e sulfatos, índice, potencial de corrosão, índice esclerométrico e pH superficial do concreto) entre os anos de 2013 e 2016 do PIER do Porto de Paranaguá-PR

Comparando-se as anomalias existentes no ano de 2013 com as anomalias existentes no ano de 2016 ocorreu evolução acentuada, sendo pontos que existiam de anomalias aumentaram e pontos que inexistentes surgiram.

a) Que o Avanço do Teor de cloretos: Avanço de 30% em 3 anos.

Julho/2013 – uma média de 0,16

Julho/2016 – uma média de 0,20

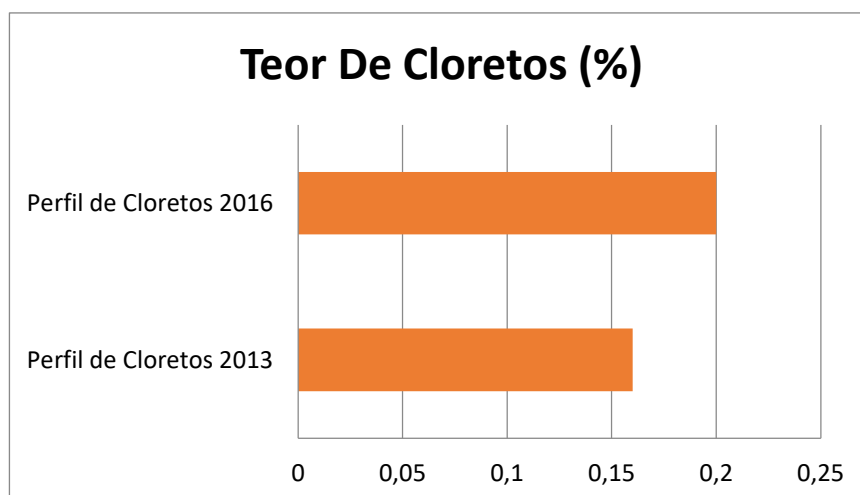


Gráfico 01. Perfil de cloretos – Autoria Própria

Conforme tabela comparativa dos resultados dos ensaios laboratoriais do Teor de Cloretos, observa-se que houve um grau de avanço de 30% nos elementos aferidos. O avanço dos íons cloro, resultante dos comparativos dos resultados dos ensaios é um indicativo do grau de agravamento da estrutura, uma que são responsáveis pelo avanço da deterioração e das reações químicas de despassivação da armadura quando exposta ao agente agressivo. Por sua vez, os agentes íons cloro não é um fator agravante na degradação do concreto porém devido ao agravamento e o avanço das manifestações patológicas nas estruturas e concreto armado, o seu ingresso é facilitado e suas reações químicas internas em contato direto com o aço é potencializada uma que os agentes chegam de forma

rápida e integra, reagindo diretamente de forma a se potencializar conforme exposição da estrutura. Seu grau de avanço aumenta conforme a quantidade de ions cloro presente no ambiente e os demais agentes agressivos, tais como, sulfatos e CO₂, que possibilitam de forma rápida e acentuada a dião do aço e com isso seu agravamento de forma acelerada. Estima-se que os agentes agressivos demora em m torno de 25 anos para penetrar na estrutura pela sua porosidade, portanto só reagirão com o aço após 25 anos aproximadamente.

b) Que o resultado do ensaio de teor de sulfatos avançou: 29%

Julho/2013 – uma média de 0,0393

Julho/2016 – uma média de 0,0510

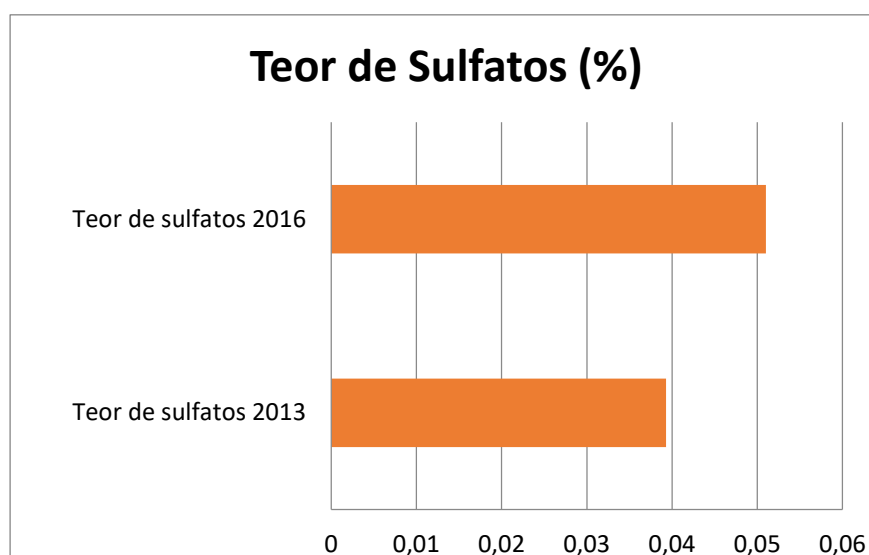


Gráfico 02. Teor de sulfatos – Autoria Própria

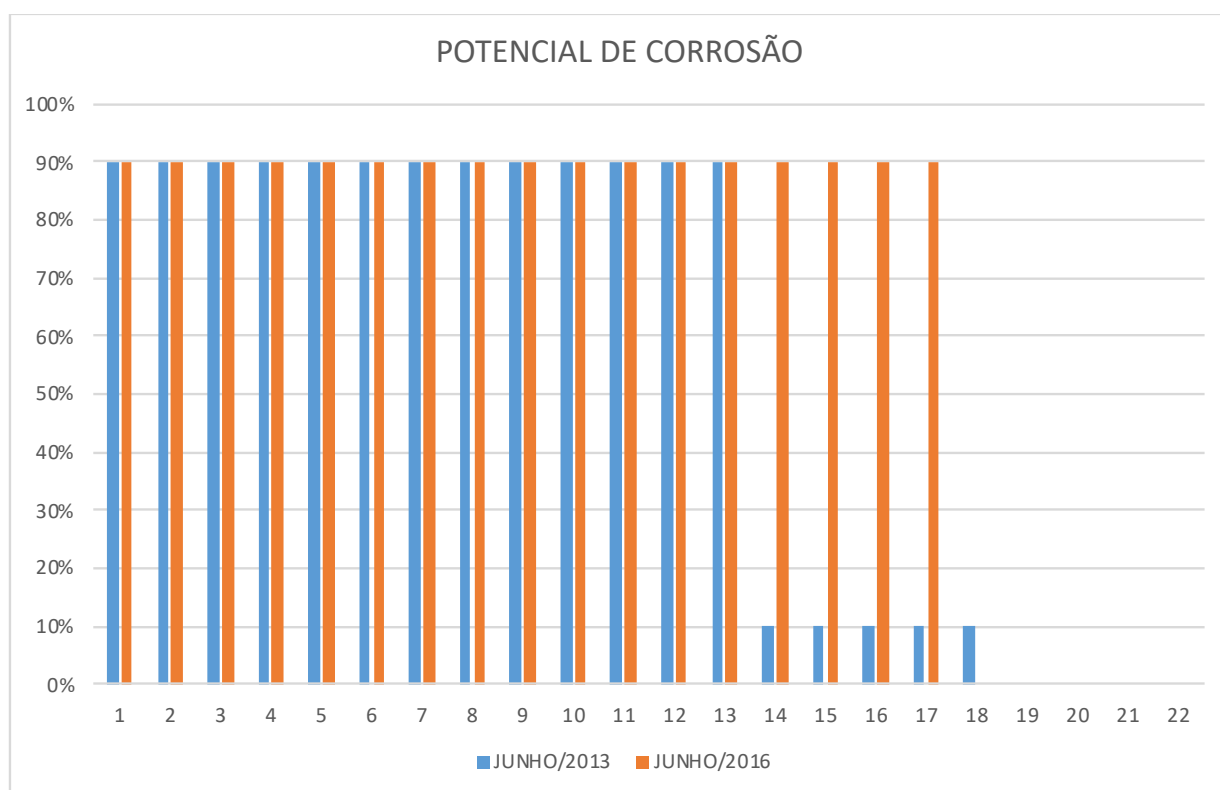
Conforme tabela comparativa, dos resultados dos ensaios de teor de sulfatos, realizados no ano de 2013 e 2016, pela empresa Lap Power, identifica-se uma evolução negativa de 29%, onde entende-se que a evolução do teor de sulfatos não implica no grau de deterioração das armaduras, porém sua influência na deterioração do concreto é extremamente elevada e com a estrutura estando de forma exposta aos agentes agressores e o ingresso dos agentes sendo facilitado pelas manifestações patológicas encontradas no ano de 2013. Com isso, entende-

se que a concentração de sulfatos presente no ambiente, de classe de agressividade V, conforme NBR 6118/2013 classifica, um dos fatores mais importantes na proteção do elemento é seu cobrimento, sua porosidade e sua resistência superficial, que por sua vez, serão fator determinante na proteção do concreto armado contra a concentração de sulfatos presente no ambiente. Devido o avanço das manifestações patológicas oriundas de diversos mecanismos, e com o ingresso facilitado, os sulfatos atacam diretamente o concreto reagindo com o hidróxido de cálcio, criando a etringita tarida que gera um sintoma no elemento estrutural, causando a fissuração e permitindo o ingresso dos demais agentes presentes no ambiente.

c) O resultado do ensaio de Potencial de Corrosão:

Julho/2013 – das 22 vigas analisadas: 13 a probabilidade de corrosão era maior que 90%, 5 era maior que 10% e 4 foram caracterizadas como incertas”

Julho/2016 – das 22 vigas analisadas: 17 a probabilidade de corrosão é



maior que 90% e as outras 5 foram caracterizadas como incertas”;

Gráfico 03. Potencial de corrosão – Autoria Própria

Conforme grau evolutivo mostrado pelos resultados dos ensaios de potencial de corrosão, ensaios que são elaborados in-loco, onde foi constatado uma evolução da quantidade de elementos com mais de 90% de probabilidade de corrosão isso se deve ao avanço dos agentes agressores presente no ambiente (íons cloro, sulfatos, CO₂, uréia entre outros), onde por sua vez, agentes como: íons cloro, CO₂, O₂, tendo um caminho facilitado pela abertura de porosidade e sintomatologia que os sulfatos causam na estrutura, como fissuras e deslocamentos, o ingresso destes agentes atacam diretamente as armaduras, potencializando e agravando a despassivação do aço e iniciando o processo de corrosão, que por sua vez, irá gerar tensões resultantes do processo expansivo do aço e tensionara o concreto ao seu redor, gerando manifestações patológicas e deslocamentos. O grau de potencial de corrosão, medido conforme ensaios exemplificados, determina a probabilidade de corrosão daqueles elementos e com isso, mensura o grau de degradação frente a corrosão as armaduras, estimando em porcentagem sua probabilidade de corrosão, nos trazendo parâmetros de possibilidades de reabilitação dos elementos e o grau de criticidade das armaduras.

- d) O resultado do ensaio do índice esclerométrico teve uma variação de:
 Julho/2013 – entre os elementos analisadas, resultados entre
47 e 59 MPa
 Julho/2016 – entre os elementos analisadas, resultados entre
47 e 51 Mpa

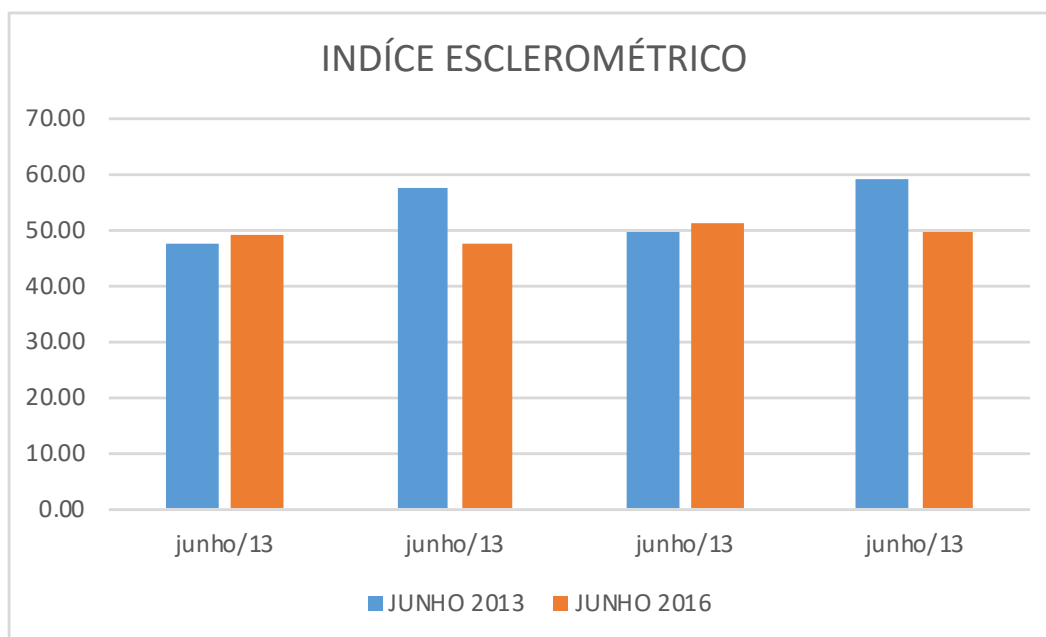


Gráfico 04. Índice Esclerométrico – Autoria Própria

Verificou-se que, nas regiões onde se foi executado os ensaios de índice esclerométrico, houve poucas variações com relação a resistência superficial do concreto, referente aos relatórios de 2013 e 2016, com isso, não pode-se afirmar que a resistência superficial é fator de proteção da porosidade do concreto, onde entende-se que a porosidade e o cobrimento são fatores fundamentais para a proteção e durabilidade dos elementos, onde impedem o ingresso dos agentes agressivos da região. Um concreto resistente superficialmente não pode-ser parâmetro de caracterização da resistência a tração do elemento e resistência a porosidade frente aos agentes agressivos.

e) O resultado do pH superficial do concreto variou entre:

Julho/2013 – **Entre 12 e 13**

Julho/2016 – **Entre 10 e 11**

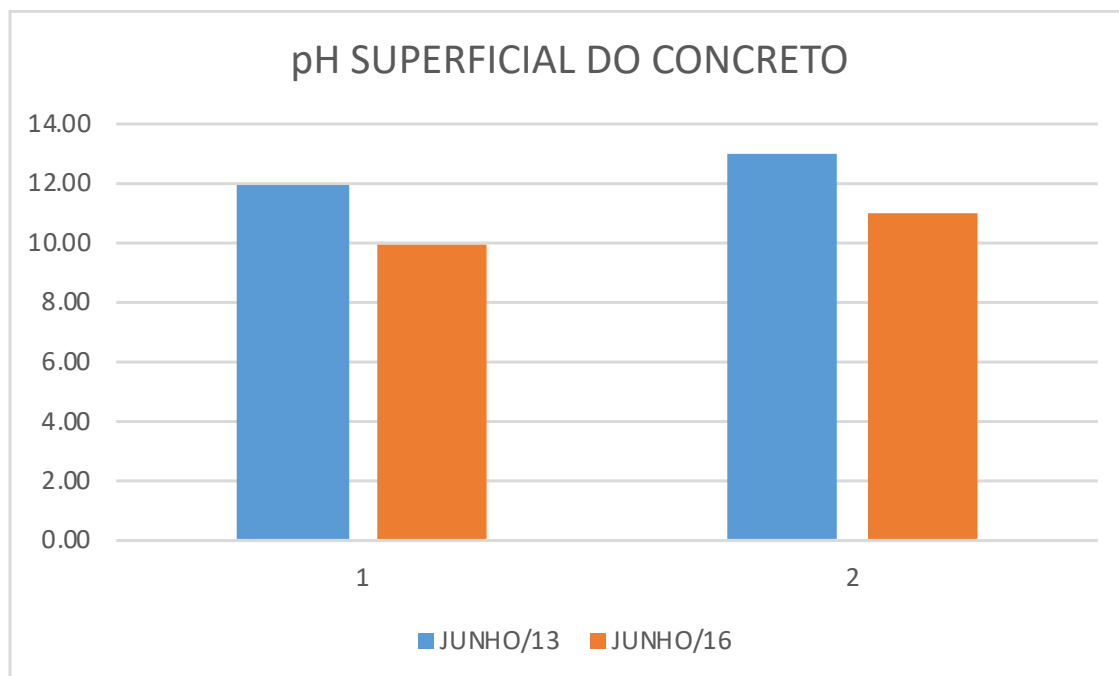


Gráfico 05. pH Superficial do Concreto – Autoria Própria

Conforme ensaio de pH superficial, onde foi realizado com lápis medidor, nas mesmas regiões aferidas, verificou-se uma evolução negativa. Com tudo, como o resultado do ensaio traz parâmetros superficiais, entende-se que a evolução negativa do pH superficial é fator contribuinte para o ingressos dos agentes agressivos e a velocidade de despassivação dos elementos internos da pasta de cimento, fator que contribui para os processos de corrosão das armadoras e da expansão por sulfatos do concreto. Tal ensaio, entende-se que superficialmente a evolução negativa do pH pode ser um fator fundamental na proteção da pasta de cimento, contra a concentração de sulfatos na região. Fator que reduzindo o pH superficial, significa que temos uma baixa concentração de alcalinidade e proteção superficial do concreto, permitindo assim, o ingresso dos agentes agressivos que primeiro reagem com o concreto, gerando um primeiro sintoma e após o avanço das manifestações patológicas, gerando tensões, fissuras e deslocamentos, deixando caminho livre para os demais agentes químicos como íons cloro e CO₂, que são responsáveis pelas reações de expansão do aço e o agravamento potencial do elemento estrutural.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Neste capítulo, serão apresentadas as considerações finais desta pesquisa e as recomendações para futuros trabalhos.

4.1. Considerações finais

Considera-se que os objetivos propostos no início desta pesquisa foram atingidos e que a hipótese foi corroborada e pode-se observar que:

- a) Ocorreu uma evolução negativa no aspecto de durabilidade nos resultados dos ensaios no PIER de Paranaguá nos anos de 2013 e 2016;
- b) Quanto aos resultados dos ensaios do pH superficial do concreto, identificou-se que houve uma evolução negativa deste indicador: saindo de 13,00 até 10,1, redução de aproximadamente 30%. Fator que contribui diretamente na proteção superficial do concreto contra a concentração de sulfatos, agente que reage diretamente com a pasta de cimento, causando um dos sintomas;
- c) No comparativo dos índices esclerométrico, identificou-se que houve uma evolução negativa em 10%, variando de 59 para 47, sendo assim, pode-se considerar que quanto sua resistência superficial caracteriza-se em boas condições.
- d) No ensaio de potencial e corrosão, houve um aumento na probabilidade de mais de 90%, dos elementos analisados e aferidos durante os ensaios realizados in-loco, sendo que 13 elementos estavam em situações com mais de 90% de probabilidade de corrosão no ano de 2013 e no ano de 2016 de 13 passou para 17 elementos com probabilidade maior de 90%. Conforme ensaio e evolução negativa, entende que o aumento dos elementos e sua probabilidade de corrosão, está

diretamente ligado ao aumento das manifestações patológicas e o ingresso dos agentes como íons cloro e CO_2 , que potencializam a despassivação do aço, gerando a pilha eletroquímica e o processo de corrosão e expansão, tencionando o concreto;

- e) Nos resultados dos ensaios de teor de cloretos, onde no ano de 2013 apresentou uma média de 0,13% nos elementos aferidos, houve uma evolução negativa para 0,20% em sua média no ano de 2016, caracterizando um avanço de 30% durante os dois períodos. O avanço aferido em cerca de 30% é responsável pelo aumento das corrosões nas armaduras e avanço no deslocamento dos elementos estruturais, causando uma acelerada degradação nas barras de aço, gerando expansão e redução de seção dos elementos, fator que contribui diretamente para estabilidade global, de serviço e de uso do Pier.
- f) Quanto aos resultados dos ensaios de teor de sulfatos, onde no ano de 2013, houve um valor médio de 0,0393%. Já no ano de 2016, após os ensaios realizados os resultados formam um valor médio de 0,0510%, um avanço de 29% com relação teores. Analisados. O avanço da concentração de sulfatos presente na estrutura de concreto armado, é resultado da perda de pH superficial, baixo cobrimento e concreto inadequado, não sendo capaz de resistir aos parâmetros de durabilidade e desempenho conforme classe de agressividade inserida. Podemos considerar que a estrutura tem aproximadamente 13 no seu primeiro relatório e 16 no segundo relatório, idade considerada baixa para um elevado grau de deterioração.

Portanto, considera-se que entre as duas inspeções realizadas no ano de 2013 e 2016, houve um alto grau de agravamento das manifestações patológicas no PIER de Paranaguá/PR, que esse agravamento foi um fator determinante para a intervenção imediata e também a necessidade de mais de 1.200,00 metros de reforço estrutural executado ao longo de todo PIER.

Sua classe de agressividade e as condições de projeto e uso, também foram fatores que aceleraram o processo de degradação da estrutura a fim de impossibilitar a continuação dos trabalhos na região e com isso a intervenção tenha sido de forma imediata no ano de 2016.

A obra durou 2 anos, sendo que a produtividade média por dia foi de 4 horas trabalhadas.

4.2. Recomendações para futuros trabalhos

Entende-se que a educação é uma forma de estudo continuada (Enio Pazini) e com isso, sugere-se aos futuros estudos e pesquisas de estruturas de obras especiais, sendo caracterizada em sua classe de agressividade nível V, estudos como:

- a) Aplicação de materiais compósitos;
- b) Concreto especiais com baixa relação água cimento e elevada durabilidade;
- c) Adição em fase de projeto, pesquisas como anodos de sacrifício e seu desempenho ao longo do tempo;
- d) Monitoramento em tempo real de estruturas especiais quando seu grau de agravamento dos elementos estruturais, frente a agressividade do ambiente;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, C. **Manual para Diagnóstico de Obras Deterioradas por Corrosão de Armaduras**. São Paulo: PINI, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto**. Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

BARREIRA, LUCAS. OLIVEIRA, WAGNER AUGUSTO. 2020. **Estudo comparativo dos parâmetros de durabilidade encontrados nas caldeiras de recuperação A e B de uma fábrica de papel e celulose**. Americana: Instituto Daher DeLuca, Programa de pós-Graduação em Engenharia Civil, 2020.

CANOVAS, M. F. 1988. **Patologia e terapia do concreto armado**. São Paulo: PINI, 1988.

GRANATTI, JAQUELINE PEGORETTI. 2020. **Estudo comparativo das condições atuais das chaminés A e B, com diferença de idade de 13 anos**. Americana: Instituto Daher DeLuca, Programa de pós-Graduação em Engenharia Civil, 2020.

GUIMARÃES, Paulo S. L. F; GUIMARÃES, Alberto C. T.; ALEIXO, Thiago F. **Laudo de manifestações patológicas – Píer de Paranaguá/PR**. Lap Power. 2013.

GUIMARÃES, Paulo S. L. F; GUIMARÃES, Alberto C. T.; ALEIXO, Thiago F. **Laudo de manifestações patológicas – Píer de Paranaguá/PR**. Lap Power. 2016.

HELENE, Paulo R. L. 2013. **Ambientes Agressivos**. [Online] Julho de 2013. <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/05/pini.pdf>.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. 1993. Tese (Livre docência). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS (IBAPE). **Norma de Inspeção Predial Nacional**. São Paulo, 2012.

KNAPP, L. M.; OLIVAN, L. I.. **Perícias em Estruturas Metálicas – Aplicação do Método GUT**. São Paulo: Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias (IBAPE), 2019.

LAPA, J. S. 2008. **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

MOLIN, D. C. C. D.. **Fissuras em Estrutura de Concreto Armado – Análise das Manifestações Típicas e Levantamento de Casos Ocorridos no Estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia Civil). Prof. Dr. Paulo Roberto do Lago Helene. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.

NBR 6118. 2014. **NBR 6118 Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**. s.l.: ABNT, 2014.

NORONHA, M. A. A. **Diagnóstico dos males e terapia das estruturas – Apostila do curso de Patologia das Construções de Concreto**. São Paulo: Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1980.

POSSAN, EDNA. 2010. **Modelagem de Carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano**. Porto Alegre: Escola de Engenharia, Programa de pós-Graduação em Engenharia Civil, 2010.

SABETTA, DIOGO MARQUES. 2020. **Determinacao das causas das fissuras identificadas em estruturas de concreto armado das edificações de terminal logístico multimodal**. São Paulo: Instituto Daher DeLuca, Programa de pós-Graduação em Engenharia Civil, 2020.

THOMAZ, E. C.S. 2020. <http://www.ime.eb.mil.br/pt/>. Instituto Militar de Engenharia. [Online] 13 de dezembro de 2020. <http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/esclerometro01.pdf>.

TOMAZELI, A. **Estruturas Paralisadas de Concreto Armado de Edifícios – Inspeção, Análise e Aceitação**. São Paulo: Leud, 2019.

TORRES, Ariela da Silva. 2011. **Corrosão por cloretos em estruturas de concreto armado: uma meta análise**. Porto Alegre: Universidade Feredal do Rio Grande do Sul, 2011.