

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA - CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DA CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

RODRIGO DURIGON

**PANORAMA DA INCIDÊNCIA DE MANIFESTAÇÕES DE CORROSÃO
DE ARMADURA EM FLORIANÓPOLIS**

FLORIANÓPOLIS, 2024.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

RODRIGO DURIGON

**PANORAMA DA INCIDÊNCIA DE MANIFESTAÇÕES DE CORROSÃO
DE ARMADURA EM FLORIANÓPOLIS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientadora:
Prof^a. Luciana Maltez Calçada, Doutora

FLORIANÓPOLIS, 2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Durigon, Rodrigo

Diagnóstico da incidência de manifestações de corrosão de armadura em Florianópolis - Estudo de caso / Rodrigo Durigon; orientação de Luciana Maltez Calçada. - Florianópolis, SC, 2024.

30 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Civil. Departamento Acadêmico de Construção Civil. Inclui Referências.

1. Corrosão de armadura. 2. Engenharia Diagnóstica. 3. Fatores Geográficos. I. Maltez Calçada, Luciana. II. Instituto Federal de Santa Catarina. III. Diagnóstico da incidência de manifestações de corrosão de armadura em Florianópolis - Estudo de caso.

**PANORAMA DA INCIDÊNCIA DE MANIFESTAÇÕES DE CORROSÃO DE
ARMADURA EM FLORIANÓPOLIS**

RODRIGO DURIGON

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 03 de setembro, 2024.

Banca Examinadora:

Eng. Luciana Maltez Calçada, Doutora

Eng. Juliana Machado Casali, Doutora

Eng. José João de Andrade Neto, Bacharel

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	6
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	8
2.1	Engenharia Diagnóstica.....	8
2.2	Manifestações patológicas.....	8
2.3	Corrosão de armaduras.....	9
2.3.1	Corrosão por Carbonatação.....	11
2.3.2	Corrosão por ataques de íons cloretos.....	12
2.4	Fatores climáticos e geográficos.....	13
3	MÉTODO.....	15
3.1	Coleta de dados.....	16
3.2	Tratamento dos dados.....	16
4	APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	17
4.1	Idade das edificações.....	19
4.2	Tipos de corrosão.....	21
4.3	Distância em relação ao mar e altura na edificação.....	22
4.4	Mapas de localização e incidência.....	23
5	CONCLUSÃO.....	27
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29

PANORAMA DA INCIDÊNCIA DE MANIFESTAÇÕES DE CORROSÃO DE ARMADURA EM FLORIANÓPOLIS

Rodrigo Durigon ¹

RESUMO

Apesar de relativamente nova, a aplicação da área da engenharia diagnóstica cresce à medida em que edificações existentes apresentam perda de desempenho ou manifestações patológicas em curtos espaços de tempo após sua finalização. Dentre as manifestações patológicas, destaca-se a incidência de corrosões de armadura como sendo uma das mais preocupantes e de onerosa recuperação no setor da construção civil. Nesse contexto, é de grande importância entender um dos fatores que mais influenciam no seu surgimento, o meio ambiente. A depender da posição geográfica e dos fatores climáticos onde uma edificação está localizada, seu comportamento frente a agentes agressivos do meio está sujeito a apresentar desempenho divergente do apresentado durante as fases de concepção e projeto. O presente estudo tem por objetivo fazer um levantamento das ocorrências de corrosão de armadura na cidade de Florianópolis - SC, a partir de inspeções realizadas por uma empresa local, buscando relacionar a fatores relativos à exposição, idade e posição na edificação. Para tal, foram avaliados 300 laudos de inspeção desenvolvidos segundo os procedimentos técnicos da engenharia diagnóstica, a partir dos quais foram analisados os casos de corrosão de armadura em diferentes imóveis localizados em diversas regiões da cidade. Os resultados mostraram que fatores como proximidade do mar e posição na edificação (altura e tipo de pavimento) podem ser utilizados como identificadores de potencial desenvolvimento de processos corrosivos. Além disso, a identificação do grande número de ocorrências precoces de corrosão de armaduras indica preocupação do usuário com manutenção preventiva, bem como necessidade de melhoria do processo construtivo e de seu controle de produção em função ao aumento do tempo de surgimento de corrosão de armadura e consequentemente redução de custos com manutenção.

Palavras-chave: Corrosão de armadura. Engenharia Diagnóstica. Fatores geográficos.

1 INTRODUÇÃO

A expansão do setor da construção civil traz benefícios como geração de empregos e estímulo a diversos setores econômicos. Apesar disso, sua natureza por vezes artesanal, traduz-se em perda de qualidade e de durabilidade das edificações.

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Santa Catarina.
rodrigo.d1@aluno.ifsc.edu.br

Mão de obra não-qualificada, falha nas etapas de controle e supervisão dos trabalhos, e de utilização de materiais inferiores aos padrões exigidos por normas, são alguns dos fatores envolvidos neste decréscimo (Souza e Ripper, 1998).

Neste cenário, um tema crítico na engenharia civil diz respeito à durabilidade das estruturas de concreto armado, uma vez que, manifestações patológicas, especialmente as relacionadas à corrosão de armadura, podem comprometer a integridade e vida útil das edificações, além de representar custo significativo de recuperação. De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2023), a durabilidade pode ser definida como a capacidade da estrutura de resistir a influências previstas do meio, definidas em conjunto pelo projetista responsável e contratante na época de elaboração do projeto, devendo as estruturas serem projetadas para manter suas características de segurança, estabilidade e aptidão em serviço, quando solicitadas pelas condições ambientais previstas.

As principais causas de desenvolvimento de processos corrosivos em armaduras são a carbonatação e os ataques por cloretos (NBR 6118, ABNT 2023). Em ambos os processos, a agressividade ambiental, aliada a fatores climáticos e geográficos específicos, também desempenham um papel crucial nestes processos (Helene, 1993). Meira (2007), evidencia a corrosão de armadura como um dos principais problemas, especialmente em zonas costeiras.

Uma área relativamente nova na construção civil, denominada “Engenharia Diagnóstica”, tem por objetivo, como o próprio nome diz, diagnosticar manifestações patológicas por meio de inspeção e experimentação. A sua aplicação tem sido cada vez mais frequente na avaliação periódica para indicação de necessidade de manutenção predial, bem como na forma de documentação para processos judiciais (Gomide, Neto e Gullo, 2009).

Em Florianópolis, por possuir uma vasta área litorânea, apresenta regiões com alto risco de deterioração estrutural, sendo este trabalho relevante para a identificação destas áreas mais críticas. Além disso, a abordagem do tema contribui com informações importantes para a manutenção de construções civis e infraestrutura urbana. A análise dos fatores que contribuem diretamente para a deterioração destas estruturas é fundamental para propor medidas preventivas e corretivas eficazes.

Ademais, a NBR 15575-1 (ANBT, 2021), indica um prazo de vida útil de projeto mínima de 50 (cinquenta) anos para elementos estruturais, e conhecer os ambientes

agressivos que afetam neste quesito, como no caso de Florianópolis, seria importante para auxiliar na especificação e na seleção de sistemas que atendam ao requisito de vida útil.

Nesse contexto, este trabalho buscou identificar as regiões de maior incidência de manifestações patológicas de corrosão de armadura em Florianópolis, visto que a especificação na NBR 6118 (ABNT, 2023) é ampla neste tema. Para tal, buscou-se uma relação da influência de fatores intervenientes no processo de degradação, como localização geográfica das edificações, idade, tipo de mecanismo de corrosão, e altura da incidência em relação ao solo, por meio da coleta de informações na forma de laudos de diversas especialidades, realizados por uma empresa da região que atua na área de engenharia diagnóstica.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Engenharia Diagnóstica

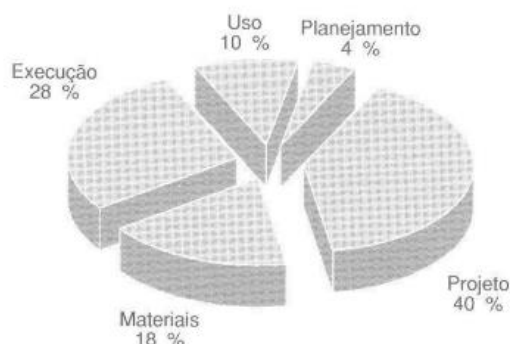
O campo da Engenharia Diagnóstica, tendo seu desenvolvimento iniciado em 2005 pelo engenheiro Tito Lívio Ferreira Gomide, como uma forma evolutiva da inspeção predial, tem, cada vez mais, relevância na engenharia civil, devido ao seu papel essencial na mitigação de anomalias construtivas e consequentemente seus custos de assistência técnica, buscando atingir a qualidade predial máxima, por meio de ferramentas diagnósticas (Gomide, Fagundes Neto e Gullo, 2009). No que diz respeito ao estudo das patologias, ressalta-se sua similaridade com a medicina diagnóstica, pois se utiliza de meios semelhantes, realizando indagações, análises e ensaios para atingir, entretanto, um objetivo distinto, neste caso fornecer diagnósticos precisos do nível de desempenho em edificações, sejam estes causados por manifestações patológicas, falhas de manutenção ou irregularidades de uso (Gomide *et al*, 2021).

2.2 Manifestações patológicas

A junção de etapas construtivas leva ao resultado desejado da entrega, ocupação e uso de uma edificação. Helene (1992), divide esses processos em: planejamento, projeto, materiais, execução e uso, com as manifestações patológicas podendo ocorrer de diferentes maneiras e em qualquer uma destas etapas. Conforme

o modelo desenvolvido pelo autor (Figura 1), a etapa com maior incidência de manifestações patológicas, é a etapa de projeto, seguida da execução, materiais, uso, e por fim planejamento.

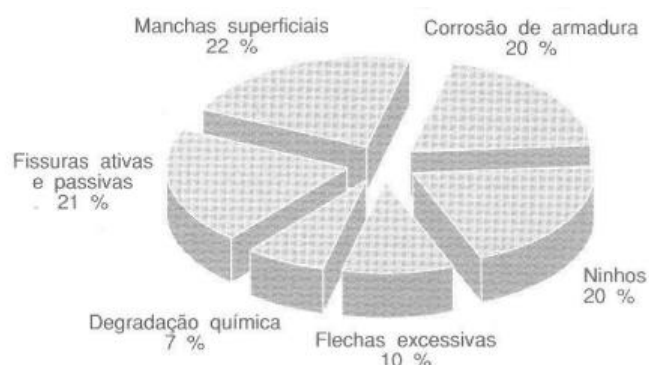
Figura 1 - Origens de manifestações patológicas em etapas construtivas.



Fonte: (Helene, 1992).

Os sintomas de maior incidência nas estruturas de concreto são as fissuras, eflorescências, flechas excessivas, manchas no concreto aparente, corrosão de armaduras e ninhos de concretagem - segregação dos materiais constituintes do concreto (HELENE, 1992). As manifestações patológicas estão entre os principais fatores que contribuem para a deterioração de edificações, e, dentre elas, pode-se destacar as que acometem elementos estruturais, como por exemplo a corrosão de armaduras e seus processos, conforme pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 - Incidência de manifestações patológicas em estruturas.



Fonte: (Helene, 1992).

2.3 Corrosão de armaduras

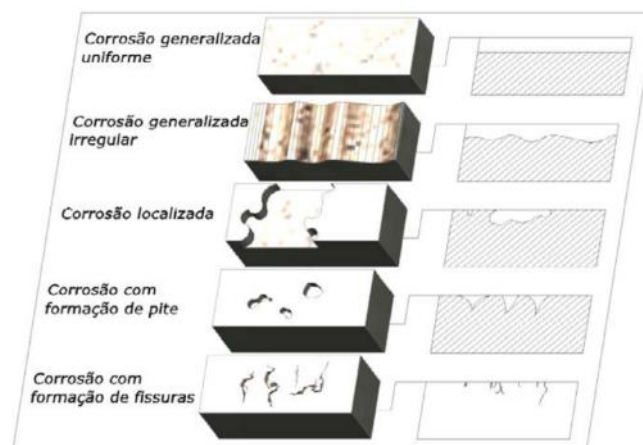
A armadura das estruturas de concreto armado somente terá suscetibilidade à corrosão quando há deterioração do concreto, ou presença de contaminantes na composição dos seus materiais, principalmente quando em ambientes agressivos,

visto que os próprios constituintes do cimento Portland a protegem da entrada de contaminantes e atuam como inibidoras da corrosão. (Gentil, 2017).

Para Helene (1993), a corrosão é definida como a interação destrutiva de um material com o ambiente, por meio de ações físicas, químicas, eletroquímicas, ou ainda a combinação destes fatores. De maneira geral, a corrosão representa um processo de oxidação, no qual ocorre a despassivação do aço na estrutura de concreto armado.

A corrosão pode se apresentar de duas formas: generalizada ou localizada. No processo generalizado, o material sofre um desgaste de maneira relativamente uniforme, em área extensas, sendo, portanto, um processo mais lento. Já na corrosão localizada, por estar em uma área mais concentrada, se desenvolve de maneira mais rápida e agressiva. O modelo desenvolvido por Feliu (1984) demonstra as variações nos processos, conforme Figura 3.

Figura 3 - Tipos de corrosão.



Fonte: Feliu (1984).

Para Feliu (1984), a corrosão generalizada se transforma constantemente, através da formação de micropilhas que podem causar uma perda de seção uniforme ou irregular. Na corrosão localizada, fatores como a heterogeneidade ou mudanças químicas dos materiais produzem pontos de corrosão mais localizados, classificando o processo como intermediário entre corrosão generalizada e por pites. Nos seus últimos modelos, Feliu (1984) trata das corrosões por pites, que se evidenciam em zonas mais ativas que o restante da superfície, e as corrosões com formação de fissuras, sendo aquelas onde, além dos processos corrosivos, o material ainda sofre com tensões de tração.

Para Tuutti (1982), a corrosão pode ser desencadeada pela penetração de substâncias de ativação, como os cloretos, no concreto, onde a alta alcalinidade do eletrólito pode alterar a passividade da armadura localmente, ou quando a camada de cobertura sofre alterações químicas, devido à penetração de gás carbônico que causa redução de alcalinidade e perda de passivação.

Os agentes agressivos considerados de maior preponderância nos processos relacionados à deterioração das armaduras do concreto armado segundo a NBR 6118 (ABNT, 2023), sendo eles:

- a) Ação do gás carbônico (CO_2) presente na atmosfera (Despassivação por carbonatação);
- b) Alto índice de Íons Cloreto (Cl^-) (Despassivação por ataques de cloretos).

Independentemente do processo envolvido na corrosão, esta é uma das manifestações patológicas mais críticas e de alta incidência, como já visto na Figura 2, podendo comprometer o desempenho da estrutura e sua vida útil, devendo ser diagnosticada e tratada o mais precoce possível.

2.3.1 Corrosão por Carbonatação

A carbonatação do concreto armado, apesar de não atingir as armaduras da estrutura de maneira direta, cria um meio favorável para que ocorra sua deterioração. Segundo Possan (2010), devido à redução da alcalinidade do meio, a camada passivadora do aço sofre variações na sua condição de estabilidade química, facilitando a ação de agentes agressivos.

A carbonatação ocorre de forma natural, onde o carbonato de cálcio ($CaCO_3$), é formado pela exposição das estruturas ao dióxido de carbono (CO_2), que se encontra na atmosfera, e o hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$), formado inicialmente durante a hidratação do cimento Portland (Moreno, 2000).

A alta alcalinidade inicial é fornecida devido à dissolução do hidróxido de cálcio, que proporciona um *pH igual ou superior a 12,5*. O problema ocorre quando, por difusão, o dióxido de carbono penetra nos poros do concreto, reagindo com o hidróxido e dando início à carbonatação. A despassivação da armadura pode ocorrer quando o *pH for inferior a 9*. (Fusco, 2008).

2.3.2 Corrosão por ataques de íons cloretos

Para Helene (1993), as principais formas de deterioração por cloretos podem ocorrer tanto pela presença destes em agregados contaminados, processo denominado de incorporação de cloretos, quanto pela sua presença no ambiente (especialmente regiões litorâneas), denominado penetração por cloretos.

A criticidade das ações dos íons cloretos é considerada como uma das mais notáveis para Cavalcante Filho (2010), visto a sua capacidade em despassivação de armaduras mesmo com o *pH* do concreto em estado elevado. O problema é tão comum, que Cascudo (1997) afirma não haver outro tipo de contaminante tão documentado quanto os cloretos como causadores de corrosão de armadura em estruturas de concreto armado.

Entretanto, as reações de degradação somente terão início quando os íons cloreto estiverem presentes na estrutura em quantidades suficientes, sendo esta denominada de teor máximo de cloretos (Meira, 2017). A NBR 12655 (ABNT, 2022), define valores máximos de acordo à exposição das estruturas em relação a esse agente agressivo, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Teor máximo de íons cloreto para proteção de armaduras.

Condições de serviço da estrutura	Teor máximo de íons cloreto (Cl ⁻) no concreto % sobre a massa de cimento
Concreto protendido	0,05
Concreto armado exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura	0,15
Concreto armado não exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura	0,30
Concreto armado em brandas condições de exposição (seco ou protegido da umidade nas condições de serviço da estrutura)	0,40

Fonte: NBR 12655 (ABNT, 2022).

Apesar dos limites aceitos, a NBR 6118 (ABNT, 2023) proíbe o uso de aditivos à base de cloreto, visto a capacidade de deterioração da estrutura que esse agente proporciona. Neville (2016) afirma que o segredo para a prevenção está no cobrimento da armadura, que a depender da sua espessura e qualidade (porosidade, grau de fissuração), exercerá certo controle no ingresso do sal agressivo.

2.4 Fatores climáticos e geográficos

Na fase de planejamento e projeto de uma edificação, uma das primeiras questões a serem consideradas é a classe de agressividade ambiental na qual a estrutura estará situada (Sales *et al*, 2021). A NBR 6118 (ABNT, 2023), determina as classes de agressividade ambiental, apresentadas na Tabela 2, de acordo com as condições em que a estrutura ou suas partes estarão expostas, sendo classificadas em fraca, moderada, forte e muito forte.

Tabela 2 - Classes de agressividade ambiental.

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

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2023).

A classe de agressividade determina o cobrimento mínimo necessário para as armaduras de cada tipo de estrutura, apresentados na Tabela 3, aspecto de suma importância que auxilia na barreira do concreto que impedirá a penetração de oxigênio, água, e agentes agressivos (Gentil, 2017). A norma também determina e especifica a qualidade do concreto a ser utilizado, a proporção água/cimento e a resistência mínima, em função das classes de agressividade.

Tabela 3 - Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal.

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga ^b /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

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2023).

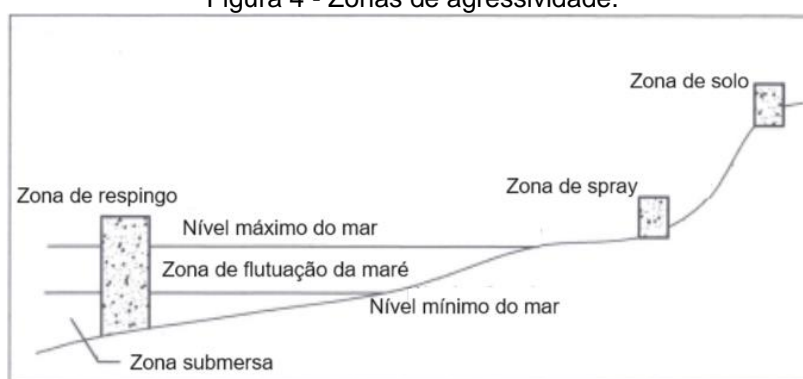
Para o processo de carbonatação, o meio em que a edificação está inserida se relaciona diretamente com a frente de carbonatação. Segundo Sales *et al* (2021), a presença do dióxido de carbono (CO_2) depende diretamente da poluição atmosférica,

ou seja, em ambientes que são mais industrializadas e há uma maior concentração de veículos, a redução da alcalinidade do concreto é facilitada.

Já o processo de corrosão iniciado devido ao ataque por cloretos em edificações em ambientes marinhos, que não estão em contato direto com a água do mar, se dá pela influência do aerossol marinho, o qual transporta os agentes agressivos pela atmosfera em direção às estruturas (Meira *et al*, 2007).

Meira (2004), traz um modelo das zonas de agressividade, apresentado na Figura 4, e as classifica em 4 zonas, sendo elas: zona submersa, zona de flutuação da maré, zona de spray e zona de solo.

Figura 4 - Zonas de agressividade.



Fonte: Adaptado de Meira (2004).

Para Vitali (2013), a zona de respingo é a mais crítica em relação às demais, sendo o teor de umidade e oxigênio os fatores contribuintes para uma maior deterioração dessa zona por meio da penetração de agentes agressivos. Esse fato é sustentado pela Tabela 2, que demonstra a zona de respingo de maré no nível mais alto de agressividade ambiental. Na zona de solo, a depender da distância da edificação em relação ao mar, a concentração de cloretos varia. A intensidade e direção dos ventos também são fatores que influenciam nesta concentração, podendo apresentar um valor significativo mesmo a uma distância considerável do mar (Vitali, 2013).

Na região de Florianópolis, Garcia (2008) efetuou um estudo para verificar a concentração de cloretos na região marinha a depender da sua distância para com o mar. Nos seus resultados, foi identificada uma concentração maior de cloretos em distâncias de até 400 metros, tendo uma brusca redução a partir desse valor devido aos obstáculos presentes. Ademais, apesar da agressividade, a penetração por íons cloreto em estruturas situadas em ambientes marinhos se torna baixa a partir dos 6 metros de altura (Rincón *et al*, 2006).

3 MÉTODO

A partir dos dados fornecidos por uma empresa de Florianópolis, especializada em engenharia diagnóstica, na forma de laudos de diferentes especialidades, será realizado um levantamento das informações para a realização do trabalho. Segundo a localização das edificações vistoriadas nos laudos, as regiões da cidade mais suscetíveis à manifestação patológica de corrosão de armadura serão analisadas na forma de um mapa de incidência.

A empresa opera por meio do levantamento de todas as anomalias e falhas existentes nas edificações, levando em consideração todos os seus sistemas, sendo estes: fachadas, elementos estruturais, pavimentação, revestimento cerâmico, revestimento argamassado, revestimento pétreo, forro de gesso, impermeabilização, acessibilidade, elementos metálicos, instalações elétricas e de dados, instalações hidrossanitárias, cobertura e sistema preventivo contra incêndios.

As edificações residenciais vistoriadas são de baixa complexidade técnica, estando classificadas no nível 1 e nível 2, de acordo com a Norma de inspeção predial (IBAPE, 2012). Portanto, se trata de uma análise sensorial das manifestações patológicas identificadas durante as vistorias, com a eventual utilização de aparelhos ou técnicas especializadas.

Para este estudo serão avaliados somente os sistemas de elementos estruturais em concreto armado, sendo realizada mais uma análise, onde as manifestações patológicas identificadas que não possuem conexões diretas com corrosões de armadura e seus processos serão desconsideradas. Foram coletadas informações de edificações vistoriadas nos últimos 5 anos.

Após essa seleção criteriosa, para os laudos que apresentarem diagnóstico de corrosão de armadura, serão levantadas as informações de localização, idade da edificação, distância da edificação do mar, e distância do solo onde a manifestação de corrosão foi evidenciada (divisão por pavimentos). Ressalta-se que, estas informações serão obtidas a partir da disponibilidade de acordo com os laudos, não sendo possível, em alguns casos, exatidão na informação.

Optou-se por essa divisão por pavimentos devido ao trabalho de Rincón *et al* (2006), onde durante avaliação estrutural da Ponte General Rafael Urdaneta no Lago de Maracaibo na Venezuela, apurou-se a influência da altura das edificações na

penetração de íons cloreto, verificando-se que partir de 6 metros a penetração é muito baixa.

Com relação à distância do mar, tomou-se por referência o trabalho de Garcia (2008), o qual efetuou um estudo para verificar a concentração de cloretos na região marinha, em Florianópolis, a depender da sua distância para com o mar. Utilizando este parâmetro, foram empregadas duas classes de edificações: as que apresentaram distância inferior a 400 metros (maior concentração), e superior a 400 metros (menor concentração devido a obstáculos).

Os dados coletados foram organizados em planilhas eletrônicas para seu tratamento visando a análise da influência dos fatores elencados na manifestação de corrosão de armadura. Outra forma de apresentação dos resultados será na forma de mapa de incidência, de acordo com a localização de cada edificação vistoriada, onde poderão ser observadas as regiões com maior número de edificações que apresentaram corrosão de armadura na cidade de Florianópolis.

Para elaboração dos mapas de incidência, foi utilizado o software SIG (Sistema de Informação Geográfica) QGIS na versão 3.38.1.

Ressalta-se que, para a coleta das informações, foi necessária a leitura, análise e interpretação de 300 laudos.

3.1 Coleta de dados

Os dados coletados consistiram inicialmente em 330 grupos de trabalho diversas, onde foram identificados serviços relacionados a: projetos arquitetônicos e complementares, trâmites legais para regularizações de obras civis, e laudos de diferentes especialidades.

3.2 Tratamento dos dados

A separação inicial foi por meio do descarte dos arquivos de trabalho contendo serviços relacionados a projetos e seus afins, da qual restaram 300 grupos contendo serviços relacionados a laudos.

Devido à extensão da dimensão da região Metropolitana da Grande Florianópolis, optou-se por realizar este estudo exclusivamente na cidade de Florianópolis. Delimitada a região a ser analisada, sucedeu-se nova separação, onde

foram identificados 200 laudos que foram realizados na área englobada na análise deste trabalho.

Como proposto inicialmente, somente a manifestação patológica de corrosão de armaduras no sistema de elementos estruturais foi contabilizada, sendo as demais desconsideradas.

A partir das informações disponíveis nos laudos, as manifestações de corrosão foram classificadas de acordo com a idade da edificação, tipo de mecanismo que ocasionou a corrosão, o elemento estrutural e seu grau de degradação, a distância da edificação do mar, e a distância em relação ao solo em que a corrosão foi observada.

Com relação à idade da edificação, as ocorrências foram divididas em 4 grupos, sendo o primeiro as edificações com até 5 anos, devido ao prazo de garantia de elementos estruturais, o segundo entre 6 e 19 anos, sendo essas edificações com prazo de vida útil médio das estruturas, seguido por edificações de mais de 20 anos, das quais já é esperado algum sinal de degradação estrutural natural, e um grupo onde não foi possível identificar essa informação com exatidão. A idade de 20 anos se baseou na inclusão, a partir de 2003, na NBR 6118 (ABNT, 2003), de questões de durabilidade e ambiente de exposição na definição de parâmetros de projeto como a relação água/cimento, resistência à compressão e cobrimento de armadura.

Para a altura de incidência de corrosão tomou-se como referência o pavimento de ocorrência, com a divisão nas classes subsolos e térreo, devido ao contato com o solo e possível contaminação por cloretos, 1º pavimento ao 3º pavimento devido à contaminação graças à influência do aerosol marinho, e demais pavimentos, os quais podem ter relação com outros fatores.

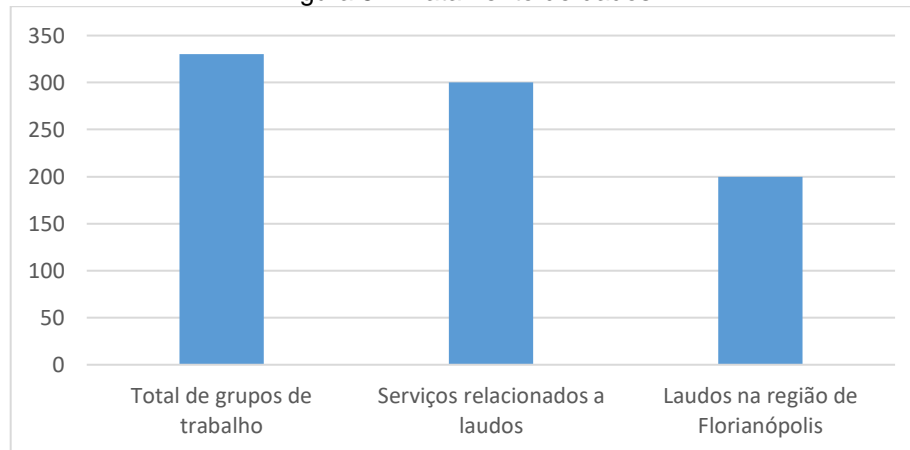
4 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

O tratamento inicial dos dados pode ser observado na Figura 5, onde 91% (300) dos grupos de trabalho referem-se a laudos, nos quais 67% (200) foram realizados na cidade de Florianópolis, um único município, e os 33% restantes foram realizados nos demais municípios da região.

Durante a análise dos elementos estruturais, foi possível constatar a incidência de corrosão de armaduras em 68 dos 200 laudos realizados em Florianópolis, totalizando 34% de incidência nas edificações vistoriadas (Figura 6). Este percentual é superior em 14% ao evidenciado por Helene (1992), apresentado na Figura 2, no

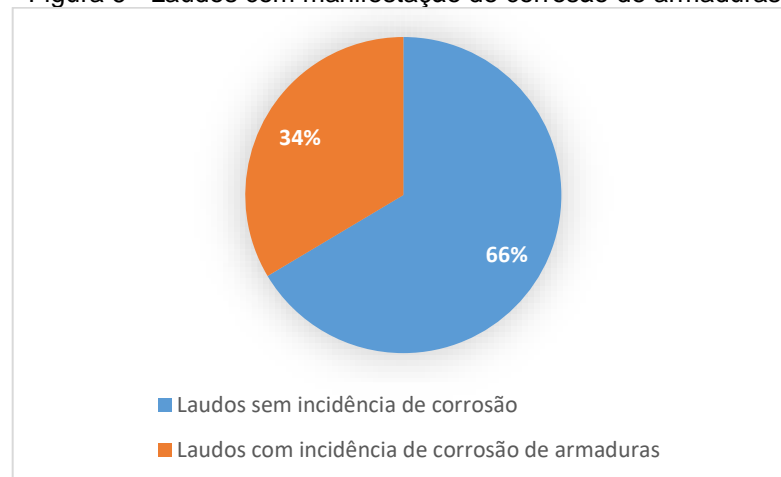
qual a corrosão de armadura esteve presente em 20% das edificações em uma distribuição relativa das manifestações patológicas mais incidentes em edificações. Esse fato pode ser explicado devido à classe de agressividade ambiental na qual a ilha de Florianópolis está inserida, podendo ser considerada como ambiente marinho com grande risco de deterioração da estrutura devido à proximidade das edificações com o mar.

Figura 5 - Tratamento de dados.



Fonte: Elaboração própria (2024).

Figura 6 - Laudos com manifestação de corrosão de armaduras

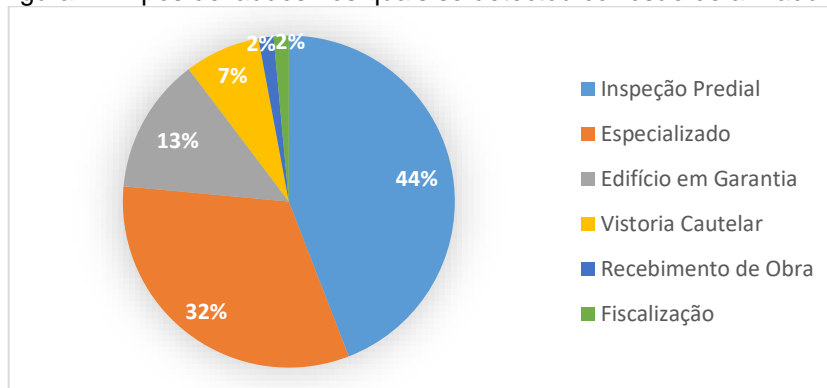


Fonte: Elaboração própria (2024).

Os 68 laudos utilizados para análise apresentaram diferentes tipos de enfoque em seu objetivo, e consistiram em: Laudos de Inspeção Predial (30), Laudos Especializados (Estrutural, Fachadas etc.) (22), Laudos de Garantia (9), Laudos de Vistoria Cautelar (5), Laudo de Recebimento de Obra (1), e Laudo de Fiscalização de obra (1), com suas respectivas porcentagens apresentadas na Figura 7. Por meio da sua observação, constata-se que a grande maioria dos laudos (44%) se referiram a laudos de inspeção predial, indicando que, diferentemente do que se via no passado,

há preocupação com manutenção preventiva das edificações. Este comportamento tende a promover aumento de vida útil e redução dos custos com manutenção já que acontecem mais cedo e, portanto, tendem a ser menos extensas e custosas. Outro percentual expressivo (32%), quase 1/3 dos analisados, são laudos especializados, quando já há manifestações de degradação identificadas na edificação. Ainda, os laudos de garantia, que ocorreram em 13% dos casos, merecem atenção já que identificam a manifestação do consumidor com relação ao direito à garantia, o que se destaca como um comportamento recente, resultado da aplicação do código de defesa do consumidor e da publicação da NBR 15575-1 (ABNT, 2021), cuja primeira versão data de 2008. Vale ressaltar que estes três tipos de laudo somam 89% do total analisado, sendo apenas 11% laudos distribuídos em laudos de outras naturezas.

Figura 7 - Tipos de laudos nos quais se detectou corrosão de armadura.



Fonte: Elaboração própria (2024).

A seguir, apresenta-se o resultado e análise de alguns fatores intervenientes nos processos de corrosão de armadura e sua incidência nos laudos analisados. Ressalta-se que esta análise foi realizada somente com 33% dos laudos em que houve relato de corrosão de armadura.

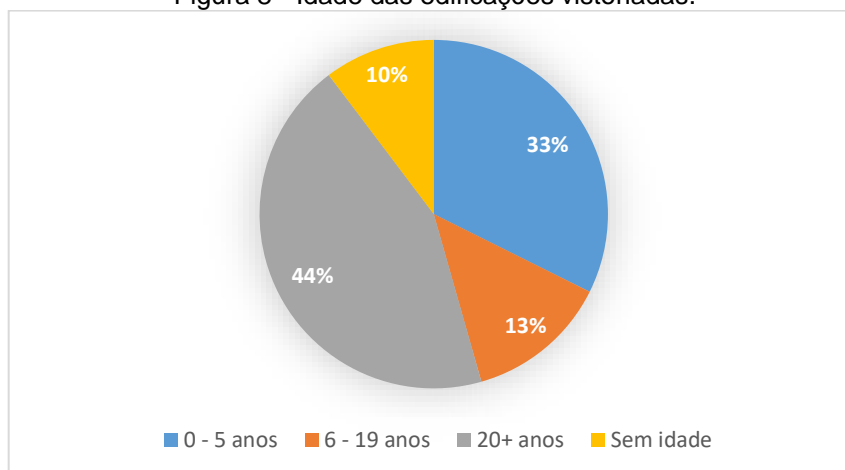
4.1 Idade das edificações

A degradação de elementos estruturais, assim como de outros sistemas, ocorre de maneira natural, porém, deve ser considerado o fato de que estes precisam apresentar uma vida útil mínima de 50 anos, conforme proposto pela NBR 6118 (ABNT, 2023), antes de serem identificadas irregularidades que necessitam de uma intervenção agressiva, como recuperação ou reforço estrutural, por exemplo.

No contexto da idade das edificações vistoriadas que apresentaram a manifestação patológica de corrosão de armadura, 33% (22) tem até 5 anos, 13% (9)

tem de 6 a 19 anos, e 44% (30) tem mais de 20 anos, onde em 10% (7) não foi possível obter essa informação com exatidão. A Figura 8 apresenta as respectivas idades das edificações de acordo com suas porcentagens.

Figura 8 - Idade das edificações vistoriadas.



Fonte: Elaboração própria (2024).

Observa-se o percentual elevado, 33%, de ocorrência de corrosão de armadura em estruturas com até cinco anos (ainda no período de garantia). Diversos fatores podem explicar a incidência deste fenômeno em edificações recentes, e todos estão diretamente relacionados a anomalias endógenas, ou seja, deficiências construtivas. Dentre esses podem ser citados: baixo cobrimento de concreto das armaduras, em desrespeito com o estipulado pela NBR 6118 (ABNT, 2018), falhas de concretagem, as quais deixam as armaduras completamente expostas à ação de intempéries e ou falhas em sistemas de impermeabilização.

A qualidade do concreto utilizado também poderia ser um fator a considerar, mas, neste caso, poder-se-ia evidenciar a falta de atendimento das prescrições de resistência mínima e relação água/cimento máxima da NBR 6118 (ABNT, 2018) ou deficiência no controle tecnológico do concreto. Vale notar que as edificações com mais de 20 anos de idade foram construídas em um período em que as exigências da NBR 6118 (ABNT, 2003) eram menos rigorosas no que diz respeito aos parâmetros relativos à durabilidade das estruturas e, portanto, as edificações mais antigas estavam mais propensas ao desenvolvimento de corrosão de armadura. No entanto, as edificações já sob vigência da NBR 6118 de 2003, ou seja, com 20 anos ou menos, representaram 46%.

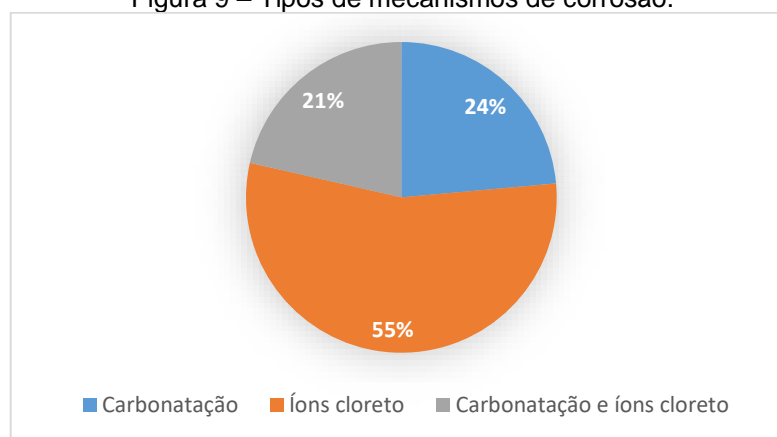
Já em edificações de médias a longas idades, estes fatores também exercem certa influência, porém, deve ser considerado se houve manutenções preventivas e

corretivas adequadas por parte da administração do condomínio, quando necessário. Como observado nos laudos, nenhuma das edificações esteve em conformidade com este fato, seja pela ausência, ou má execução de manutenções nos elementos estruturais.

4.2 Tipos de corrosão

Todos os laudos analisados possuíam diagnósticos e análises sobre os tipos de corrosão, nos quais foi possível identificar e separar os mecanismos causadores das corrosões de armaduras, sendo estes a carbonatação, a ação de íons cloreto, e ação de ambos os mecanismos em alguns casos. A porcentagem de incidência de corrosão por mecanismo está apresentada na Figura 9.

Figura 9 – Tipos de mecanismos de corrosão.



Fonte: Elaboração própria (2024).

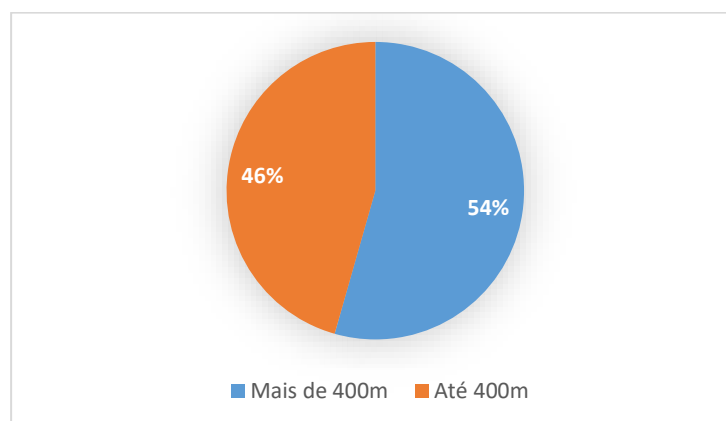
Foram identificados 140 pontos de corrosão de armaduras nos laudos analisados, onde 24% (33) foi composta por carbonatação, 55% (77) por íons cloreto, e 21% (30) onde ambos os mecanismos estiveram presentes. Um fato que se destaca para a corrosão por carbonatação é o seu alto aparecimento em regiões de pavimentos de garagens, devido à alta concentração de hidróxidos de carbono gerado pelos veículos, somado a baixa ventilação e alta umidade destes ambientes.

Já os íons cloreto, por sua vez, possuem alta incidência em regiões de reservatórios (inferiores e superiores), e áreas técnicas de piscinas. Tal fato pode ser explicado devido aos teores de cloros presentes nas águas destes locais, que condensam nos topos das lajes de coberturas de tais ambientes, e, devido à ausência ou falhas no sistema de impermeabilização, acabam degradando a estrutura de concreto armado.

4.3 Distância em relação ao mar e altura na edificação

Foram identificadas 31 edificações que se enquadram na região de maior concentração de cloretos, até 400 metros do mar, representando 46% do número total de laudos, contra 37 edificações com distância superior a 400 metros, representando 54% dos laudos (Figura 10).

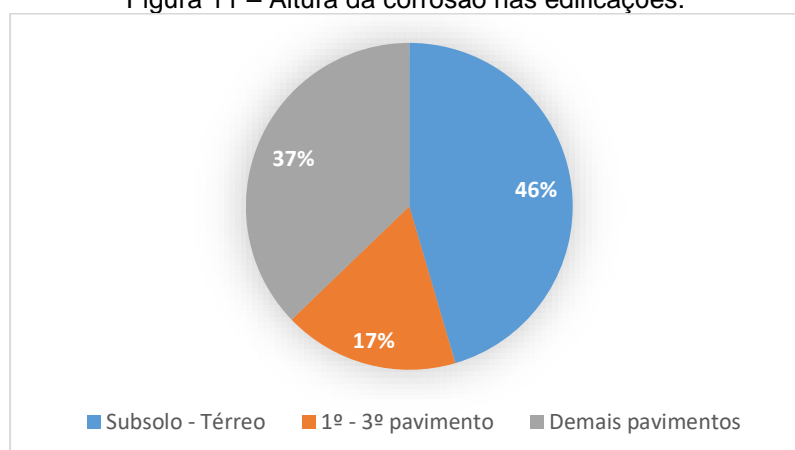
Figura 10 - Distância em relação ao mar.



Fonte: Elaboração própria (2024).

Conforme a separação proposta por pavimentos, foi possível identificar manifestações de corrosão de armaduras em 46% (55) dos casos nos pavimentos subsolos e térreos, 17% (21) no 1º a 3º pavimentos, e 37% (45) nos demais. Ressalta-se aqui que foram contabilizados os registros de corrosão que em alguns casos ocorreram mais de uma vez por laudo. Assim, o total de ocorrências, 121, supera o número de 68 laudos analisados. Na Figura 11 observa-se que o percentual de ocorrência de corrosão nas três classes de pavimentos utilizadas.

Figura 11 – Altura da corrosão nas edificações.



Fonte: Elaboração própria (2024).

Essa análise demonstra um número superior de incidência nos pavimentos inferiores da edificação, devido a coincidência de estes serem, em sua maioria, pavimentos garagem, altamente afetados pelo dióxido de carbono gerado por veículos, sendo mais afetados por carbonatação. O 1º ao 3º pavimento foram mais afetados pela influência do ambiente marinho, onde foi identificada a formação de pites (indício de corrosão por íons cloreto) na maioria dos laudos, e os demais pavimentos podem ter sido afetados por carbonatação, devido a um baixo cobrimento das armaduras em sua maioria, e/ou corrosão por íons cloreto em reservatórios superiores e inferiores, ou edificações de beira-mar, por exemplo.

4.4 Mapas de localização e incidência

Para observar a influência da localização das edificações mais afetadas pela manifestação de corrosão de armadura, foi primeiramente gerado um mapa com a localização de todas as edificações onde foram realizados laudos na cidade de Florianópolis, conforme Figura 12. Observa-se grande concentração de laudos na região central da cidade e em menor quantidade espalhados pelo litoral noroeste e norte.

Na Figura 13 apresenta-se o mapa de distribuição dos laudos que indicara corrosão. Utilizando este como base, foi possível gerar um mapa de incidência das regiões mais afetadas na cidade, conforme Figura 14.

Contabilizando os laudos numericamente, podem ser observadas as regiões de maior incidência de corrosão, conforme Tabela 4. Proporcionalmente, as regiões com maior porcentagem de incidência podem ser observadas na Tabela 5. Como esperado, a distribuição de laudos apontando corrosão de armadura apresentam-se nas áreas da cidade que continham maior número de edificações vistoriadas.

Tabela 4 – Regiões com maior incidência numérica de corrosão.

Região	Laudos analisados	Laudos com corrosão	Porcentagem de incidência
Centro	67	22	33%
Coqueiros	16	5	31%
Agrônômica	14	4	29%

Fonte: Elaboração própria (2024).

Tabela 5 – Regiões com maior porcentagem de incidência.

Região	Laudos analisados	Laudos com corrosão	Porcentagem de incidência
Canasvieiras	7	3	43%
Jurerê	7	3	43%
João Paulo	7	3	43%

Fonte: Elaboração própria (2024).

Figura 12 – Mapa de laudos em Florianópolis.



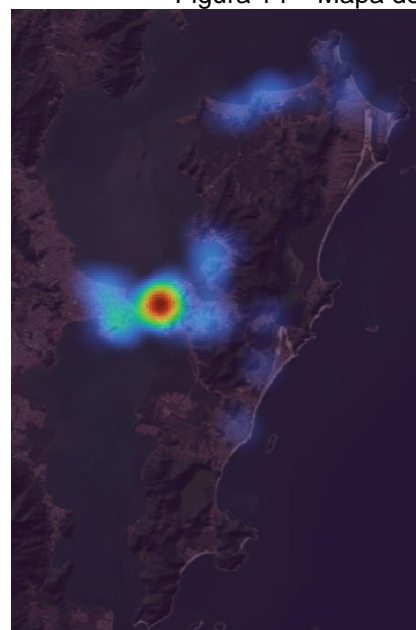
Fonte: Elaboração própria (2024).

Figura 13 – Mapa de laudos com corrosão.



Fonte: Elaboração própria (2024).

Figura 14 – Mapa de incidência.



Máximo

Nível de incidência



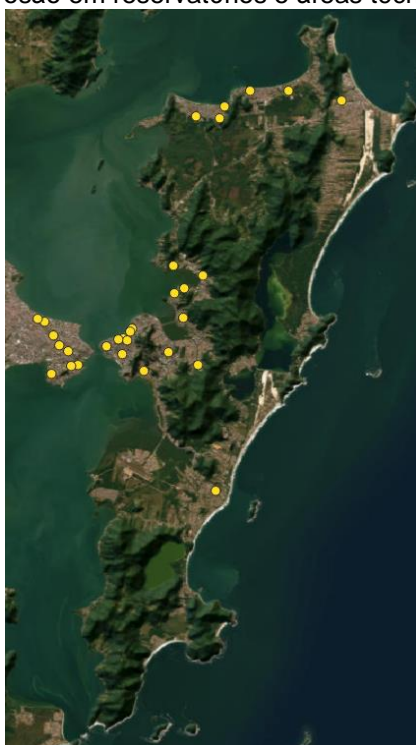
Mínimo

Fonte: Elaboração própria (2024).

Para realizar uma análise em relação entre a posição geográfica das edificações com a manifestação de corrosão de armadura por íons cloreto do ambiente marinho, foram avaliados dois parâmetros: ataques por cloretos nas armaduras de interiores de reservatórios e áreas técnicas de piscinas, e laudos situados até 400 metros do mar que apresentaram como seu mecanismo de corrosão a ação de íons cloreto, descartando os reservatórios e piscinas.

Como observado no mapa da Figura 15, a incidência de corrosão em reservatórios e piscinas nos laudos não possui influência da posição geográfica da edificação, sendo constatadas corrosões em laudos com distância superior a 2km do mar.

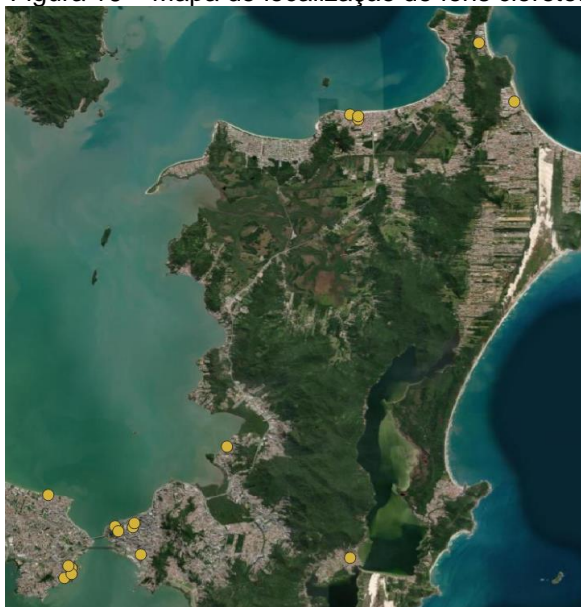
Figura 15 - Corrosão em reservatórios e áreas técnicas de piscinas.



Fonte: Elaboração própria (2024).

Desse modo, dos 68 laudos avaliados, foram identificados 18 dos quais se enquadram no parâmetro de avaliação proposto, de edificações com até 400m de distância do mar e com incidência de corrosão em ambientes distintos de reservatórios e piscinas. Portanto, através do mapa de localização da Figura 16, é possível observar os pontos da cidade de Florianópolis que são diretamente afetadas pela agressividade do ambiente marinho, conforme os dados disponíveis e analisados.

Figura 16 – Mapa de localização de íons cloreto.



Fonte: Elaboração própria (2024).

Através deste mapa de localização, foi gerado um segundo mapa de incidência, apresentado na Figura 17, porém, dessa vez das regiões onde foi possível observar a influência da localização das edificações com os ataques por íons cloreto à estrutura de concreto armado.

Desse modo, foi possível aferir as regiões mais afetadas pelo aerosol marinho devido à sua localização na cidade de Florianópolis, observadas na Tabela 6.

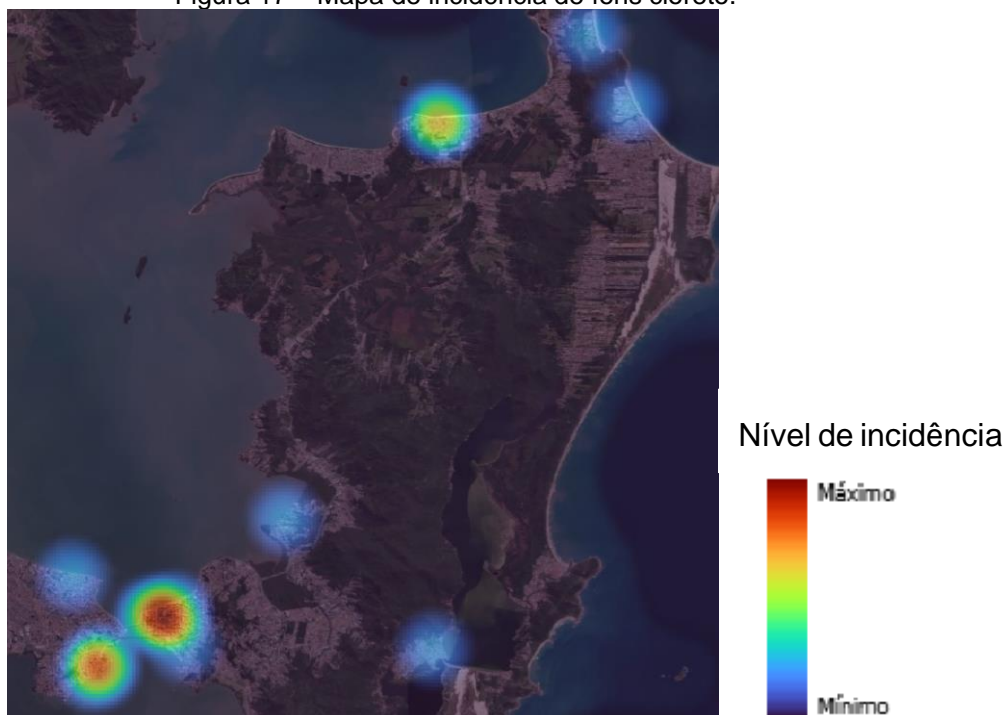
Tabela 6 – Incidência de corrosão por íons cloreto em Florianópolis.

Região	Laudos analisados	Laudos com corrosão	Porcentagem de incidência
Centro	18	6	32%
Coqueiros		4	22%
Canasvieiras		3	16%
Inglese		1	6%
Estreito		1	6%
Praia Brava		1	6%
Lagoa da Conceição		1	6%
João Paulo		1	6%

Fonte: Elaboração própria (2024).

Ressalta-se ainda que, devido a não identificação de laudos com incidência de corrosão de armaduras nas demais regiões, estas não aparecem nos mapas de incidência, embora sejam potencialmente agressivas, pois também estão inseridas numa classe de agressividade ambiental alta.

Figura 17 – Mapa de incidência de íons cloreto.



Fonte: Elaboração própria (2024).

5 CONCLUSÃO

A pesquisa teve como por objetivo identificar a suscetibilidade a corrosão de armadura em edificações, na cidade de Florianópolis - SC, relacionando-a com fatores geográficos e da edificação, por meio de informações coletadas por uma empresa da região que atua na área de engenharia diagnóstica. Para tal, foram necessárias análises das edificações afetadas por tal manifestação patológica através das suas idades, mecanismos causadores da corrosão, distância da edificação ao mar, posição da corrosão em relação aos pavimentos, e localização geográfica das edificações.

Através da análise dos tipos dos laudos, foi possível notar um crescente interesse por parte dos condomínios, na cidade, na realização de manutenções preventivas nos últimos 5 anos. Apesar disso, um fato que necessita atenção é a etapa de execução das obras na região de Florianópolis, já que se observou alta incidência de corrosão de armaduras em edificações com menos de 20 anos e sobretudo de 5

anos, indicando necessidade de melhoria do processo produtivo e de seu controle, ou reavaliação dos parâmetros de projeto com relação à durabilidade.

A realização de grande parte dos laudos na região central de Florianópolis exerceu influência na constatação de que esta foi a área mais crítica, porém, não altera o fato de que a proximidade com o mar está diretamente relacionada com a corrosões de armadura por ataques de íons cloreto na cidade. Ademais, a ação deste mecanismo em reservatórios e áreas de piscinas nas edificações independe da sua distância do mar, podendo estar relacionada com deficiências construtivas.

A predominância da corrosão em pavimentos mais baixos – garagens e subsolos – se relaciona com a proximidade dos elementos estruturais nestes locais com o lençol freático, podendo haver contaminação por cloretos, ou influência da alta concentração de dióxido de carbono (CO_2) gerados pelos veículos nas garagens.

Finalmente, apesar das limitações, o trabalho apresentou a relação entre fatores de posição e de edificações na cidade de Florianópolis, evidenciando a importância de um bom controle de qualidade e cumprimento de normas técnicas em obras civis, além da realização de manutenções adequadas durante sua utilização, visando o aumento da durabilidade de edificações em regiões de grande risco de deterioração da estrutura visto a classe de agressividade ambiental do meio em que estão inseridas.

OVERVIEW OF THE INCIDENCE OF MANIFESTATIONS OF ARMOR CORROSION IN FLORIANÓPOLIS

ABSTRACT

Despite being relatively new, the application of the area of diagnostic engineering is growing as existing buildings present loss of performance or pathological manifestations within a short period of time after completion. Among the pathological manifestations, the incidence of reinforcement corrosion stands out as being one of the most worrying and costly to recover in the construction sector. In this context, it is of great importance to understand one of the factors that most influence its emergence, the environment. Depending on the geographical position and climatic factors where a building is located, its behavior in the face of aggressive environmental agents is subject to performance that differs from that presented during the conception and design phases. The present study aims to survey the occurrences of reinforcement corrosion in the city of Florianópolis - SC, based on inspections conducted by a local company, seeking to relate factors related to exposure, age, and position in the

building. To this end, 300 inspection reports developed according to technical diagnostic engineering procedures were evaluated, from which cases of reinforcement corrosion in different properties located in different regions of the city were analyzed. The results showed that factors such as proximity to the sea and position in the building (height and type of pavement) can be used as identifiers of the potential development of corrosive processes. Furthermore, the identification of a large early occurrence of reinforcement corrosion indicates the user's concern with preventive maintenance, as well as the need to improve the construction process and its production control with a view to increasing the time for reinforcement corrosion to appear and consequently reducing maintenance costs.

Keywords: Reinforcement corrosion. Diagnostic engineering. Geographical factors.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:** Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655:** Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1:** Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

CASCUDO, O. M. **O controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeções e técnicas eletroquímicas.** 1 ed. Goiânia - GO: Pini, 1997. 237 p.

CAVALCANTI FILHO, A. N. **Contribuição ao controle tecnológico de concretos estruturais de cimento Portland em ambientes marítimos.** Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

FELIU, S. **Principios de corrosión electroquímica y tipos de ataque.** In: FERNÁNDEZ, J. A. G. (Ed.). **Teoría y Práctica de la Lucha contra la Corrosión.** Madrid: CSIC, p. 10 - 44, 1984.

FUSCO, Péricles Brasiliense. **Tecnologia do concreto estrutural: tópicos aplicados.** 1ª ed. São Paulo: PINI, 2008.

GARCIA, Raphael Barp. **Avaliação da atmosfera marinha em estruturas de concreto na região de Florianópolis - SC.** 2008. 193 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2008.

GENTIL, Vicente. **Corrosão.** 6. ed.- [Reimpr.] - Rio de Janeiro: LTC, 2017. 1191 p.

GOMIDE, T. L. F.; FAGUNDES NETO, J. C. P.; GULLO, M. A. **Normas técnicas para engenharia diagnóstica em edificações.** São Paulo: Pini, 2009. 256 p.

GOMIDE, T. L. F. *et al.* **Manual de engenharia diagnóstica: Desempenho, Manifestações Patológicas e Perícias na Construção Civil.** 2 ed. São Paulo: Leud. 2021.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado.** 1993. 231 p. Tese de Livre Docência. EPUSP, USP, 1993.

HELENE, P. R. L. **Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto.** 2 ed. São Paulo: Ed. Pini, 1992. p. 10-28.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA. **Norma de inspeção predial nacional.** São Paulo, 2012. 18 p.

MEIRA, G.R.; ANDRADE, C.; PADARATZ, I.J.; ALONSO, M.C.; BORBA Jr., J.C. **Chloride penetration into concrete structures in the marine atmosphere zone – Relationship between deposition of chlorides on the wet candle and chlorides accumulated into concrete.** Cement and Concrete Composites, v. 27, 2007.

MEIRA, G.R. **Agressividade por cloretos em zona de atmosfera marinha frente ao problema da corrosão em estruturas de concreto.** Doutorado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

MORENO, E. I. **La corrosión del acero de refuerzo inducida por la carbonatación del concreto.** Ingeniería Revista Académica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, Vol. 4, No. 2, pp. 43-48. 2000.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** 5ª ed. São Paulo: Bookman, 2016. 912p.

POSSAN, Edna. **Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano.** 2010. 264 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

RINCÓN *et al.* **Avaliação/reabilitação de estruturas em ambientes marítimos. Caso histórico: ponte de Maracaibo.** Corros. Prot. Mater, Vol. 25 Nº 3, 2006.

SALES, Almir *et al.* **Corrosão e degradação em estruturas de concreto: teoria, controle e técnicas de análise e intervenção.** 2. ed. Rio de Janeiro: Gen, 2021. 370 p.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo: Pini, 1998. 262 p.

TUUTTI, Kyösti. **Corrosion of steel in concrete.** Stockholm, Swedish Cement and Concrete. Research Institute, 1982.

VITALI, Maria Rosane Vilpert. **Efeito do distanciamento ao mar da contaminação do concreto por cloretos.** 2013. 208 f. Tese (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.