



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

MARIA EDUARDA LUCAS NERY DANTAS

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO AMBIENTE MARÍTIMO NA
DEGRADAÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS**

Orientador: Prof^o Dr. Marcos Antônio de Souza Simplício

CAMPINA GRANDE - PB

2019

MARIA EDUARDA LUCAS NERY DANTAS

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO AMBIENTE MARÍTIMO NA
DEGRADAÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
(TCC) apresentado ao Curso de
Engenharia Civil da Universidade
Federal de Campina Grande como
requisito obrigatório para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof^o Dr. Marcos Antônio de Souza Simplicio

CAMPINA GRANDE - PB

2019

MARIA EDUARDA LUCAS NERY DANTAS

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO AMBIENTE MARÍTIMO NA
DEGRADAÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande como requisito obrigatório para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob a orientação do Profº Dr. Marcos Antônio de Souza Simplício.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em:

BANCA EXAMINADORA

(Assinatura): _____

Profº Dr. Marcos Antônio de Souza Simplício
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG
(Orientador)

(Assinatura): _____

Profª Dra. Aline Figueirêdo Nóbrega de Azerêdo
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG
(Examinadora interna)

(Assinatura): _____

Profº MSc. Macel Wallace Queiroz Fernandes
Faculdade Maurício de Nassau
(Examinador externo)

DEDICATÓRIA

Primeiramente, dedico a Deus, meu sustentáculo, que proveu luz e sabedoria nos momentos difíceis.

À Nossa Senhora, que como minha fiel intercessora, deu-me ternura e colo.

Aos meus pais, Ronaldo e Ana, que fizeram dos meus sonhos seus propósitos de vida.

Às minhas irmãs, Manuella, Marcella, Ana Laysa e Mariella, que sempre foram meus exemplos.

Ao meu irmão, Ronaldo Júnior, que esteve ao meu lado em todos os momentos.

Ao meu namorado, Caio, que tanto contribuiu com seu amor e conhecimento.

Aos amigos que acreditaram em mim quando eu mesma não o fiz.

Por fim, dedico a Esther, Mariah e Luiza, minhas sobrinhas, que com a pureza de seus corações infantis me inspiraram a ser melhor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me guiado até aqui, permeando meu caminho com anjos. Seu auxílio e misericórdia, sob a vigília de Nossa Senhora, conduziram meus passos.

Ao meu pai, que através do exemplo, fez-me apaixonar pela Engenharia Civil e ter determinação para conquistar meus objetivos.

A minha mãe, por ser minha maior inspiração de ser humano. Sua garra e paixão pela vida e pelo outro serão sempre minha busca.

Aos meus irmãos, fontes infindáveis de amor e compreensão. Perto ou longe, protegeram-me com suas orações.

Aos meus avós, presentes em minha vida física ou espiritualmente, que me guiaram através de seus ensinamentos.

Ao meu namorado, Caio Ismael, que com muita paciência entendeu minhas tempestades e me ofereceu abrigo em sua paz.

A Dinarte, por ter participado da minha graduação de forma marcante e inesquecível.

Ao meu orientador, Professor Simplício, por toda ajuda e conhecimento repassado, pela paciência, atenção e dedicação.

A todos os professores que participaram da minha formação, com seus conteúdos teóricos e experiências de vida.

Aos amigos, por proporcionarem momentos de alegria e felicidade nessa jornada tão árdua.

RESUMO

Devido à crescente expansão do emprego de aço em métodos racionais da construção civil, seja com perfis metálicos ou cobertas, faz-se necessário uma investigação acerca de sua adaptabilidade nos mais diversos locais. Com o objetivo de analisar a influência do ambiente marítimo no processo de degradação de estruturas metálicas, foi realizado estudo de caso em uma obra de edifício residencial na beira-mar de Cabedelo – PB. O acompanhamento aconteceu durante quase 3 anos, tendo sido efetivada metodologia comparativa, com registros fotográficos, no espaço de 6 meses. A avaliação ponderou considerações acerca da classificação de agressividade ambiental da localização do empreendimento, fundamentada em variáveis de temperatura, pluviometria e regime de ventos. Tendo conhecimento dos dados, estimou-se, de acordo com o Mapa ibero-americano de corrosão atmosférica, classificação C5. A partir dessa, aproximações acerca da durabilidade dos revestimentos protetivos utilizados nas peças de aço foram determinados. Contudo, foi observado o florescimento de focos corrosivos prematuros, tanto nas vigas, pilares e escadas com tratamento de primer epóxi quanto nas telhas galvanizadas. Além disso, constatou-se ser mais comum encontrar produtos de corrosão puntiforme e a chamada “ferrugem branca”. Ainda, através do confronto das imagens, percebeu-se intenso alastramento do processo de degradação em período curto de tempo. Analiticamente, concluiu-se que esse estaria associado a fatores como proximidade da costa e tempo de exposição, sendo intimamente influenciado pela umidade e deposição de cloretos.

Palavras-chave: *corrosão, atmosfera marinha, agressividade ambiental, revestimentos de proteção, aço.*

ABSTRACT

Due to the increasing expansion of the use of steel in rational construction methods, whether with metal profiles or decking sheets, it is necessary to investigate its adaptability in the most diverse places. In order to analyze the influence of the maritime environment in the process of degradation of steel structures, a case study was carried out in a residential building in progress on the coast of Cabedelo - PB. The monitoring took place for almost 3 years, and a comparative methodology was carried out, with photographic records, within 6 months. The diagnosis considered information about the classification of environmental aggression of the location of the enterprise, based on variables of temperature, rainfall and wind regime. Based on the data, it was estimated, according to the Ibero-American map of atmospheric corrosion, classification C5. From this, approximations about the durability of the protective coatings used in steel parts were determined. However, the flowering of premature corrosive points was observed in both beams, pillars and ladders with epoxy primer treatment and in galvanized tiles. In addition, it has been found to be more common to find punctate corrosion products and so-called "white rust". Still, through the confrontation of the images, an intense spreading of the process of degradation in a short period of time was perceived. Analytically, it was concluded that this would be associated to factors such as shoreline distance and exposure time, being intimately influenced by humidity and chloride deposition.

Key-words: *corrosion, marine atmosphere, environmental aggression, protective coatings, steel.*

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
1. 1 OBJETIVOS	13
1.1.1 Objetivo geral	13
1.1.2 Objetivos específicos.....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1. ESTRUTURAS EM AÇO: HISTÓRICO, DEFINIÇÕES E TIPOS.	14
2.2 CORROSÃO	17
2.2.1 Forma de apresentação e tipos de corrosão.....	19
2.3 AMBIENTE DE AGRESSIVIDADE.....	22
2.3.1 Qualificação da agressividade de uma atmosfera segundo a ISO 12944-2 ...	22
2.3.2 Ambiente marítimo	24
2.4 PROTEÇÃO DAS ESTRUTURAS METÁLICAS	26
2.5 PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE	31
2.6 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DAS TINTAS.....	32
2.6.1 Defeitos de ordem estética	32
2.6.2 Defeitos de ordem geral	32
2.6.3 Defeitos de ordem econômica.....	33
3 MATERIAIS E MÉTODO	34
4 OBJETO DE ESTUDO.....	35
4.1 CARACTERIZAÇÕES DA ZONA DE ESTUDO.....	37
4.1.1 Temperatura	38
4.1.2 Pluviometria	38
4.1.3 Regime de ventos	39
4.2 PROCEDIMENTOS OBSERVADOS IN LOCO	39
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
5.1 CLASSIFICAÇÃO DO AMBIENTE	42

5.2 ANÁLISES DA EVOLUÇÃO DE FOCOS CORROSIVOS	42
6 CONCLUSÃO	52
REFERÊNCIAS	54
ANEXO A – PROJETO ESPACIAL DE ESTRUTURA METÁLICA	57
ANEXO B – PLANO DE BASES COM EIXOS	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Construção light steel frame.....	17
Figura 2 - Laje Steel Deck	17
Figura 3 - O processo de corrosão como o inverso do processo metalúrgico.....	18
Figura 4 - Representação de uma pilha de corrosão com um mesmo metal	19
Figura 5 - Formas de corrosão	20
Figura 6 - Agressividade atmosférica no Brasil.....	24
Figura 7 - Perfil de concentração de cloretos x distância em relação ao mar.	26
Figura 8 - Estimativa de vida útil de aços zincados em diferentes atmosferas	27
Figura 9 - Mecanismo de proteção por revestimento.....	28
Figura 10 - Esquema de tintas epoxídicas.....	29
Figura 11 - Imagem de Satélite da Obra em Estudo	35
Figura 12 - Chão de fábrica METALTECH	36
Figura 13 - Vista superior da 2ª laje da estrutura espacial	37
Figura 14 - Telha GERDAU trapezoidal 40 de 0.8mm	37
Figura 15 - Temperatura e precipitações médias	38
Figura 16 - Montagem de laje steel deck	39
Figura 17 - Estrutura em três estágios distintos de revestimento.....	40
Figura 18 - Observação I em outubro de 2018.....	43
Figura 19 - Observação I em março de 2019	44
Figura 20 - Corrosão em telha galvanizada.....	45
Figura 21 - Observação II em outubro de 2018	45
Figura 22 - Observação II em março de 2019.....	46
Figura 23 - Observação III em outubro de 2018	47
Figura 24 - Observação III em março de 2019	48
Figura 25 - Observação IV em outubro de 2018 (A) e observação IV em março de 2019 (B).....	49
Figura 26 - Observação V em outubro de 2018 (A) e observação V em março de 2019 (B).....	50
Figura 27 - Observação VI em outubro de 2018 (A) e observação VI em março de 2019 (B).....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos principais grupos de aços estruturais	15
Tabela 2 - Comparativo de composição química e propriedades mecânicas de aços ASTM.....	16
Tabela 3 - Agressividade ambiental segundo a ISO 12944-2:2018.....	23
Tabela 4 - Subzonas de agressividade em zona de atmosfera marinha.....	25
Tabela 5 - Sistemas de pintura para aço carbono para categoria de corrosividade C5 ...	30
Tabela 6 - Dados climatológicos para Cabedelo.....	38

INTRODUÇÃO

A especulação imobiliária em torno de edificações à beira mar tem massificado empreendimentos do tipo, os quais necessitam manter padrões de qualidade e durabilidade elevados devido ao seu alto custo agregado para o usuário final. Variáveis como salinidade, umidade, temperatura e atmosfera interferem diretamente na vida útil de uma construção, logo, pode-se afirmar que é indispensável conhecer a dinâmica do ambiente de inserção da obra com os materiais para a longevidade da mesma.

A deterioração precoce da edificação pode ser evitada através de mecanismos de proteção adequados. Porém, a hostilidade do ambiente marítimo requer atenção especial. Por causa da microestrutura simplificada dos materiais que compõem peças estruturais metálicas, promovendo vasto desenvolvimento de dispositivos protetivos, essas têm sido frequentemente requisitadas para serviço ao longo da costa brasileira.

Sabendo da crescente utilização de estruturas metálicas como técnica alternativa ao concreto armado tradicional, faz-se relevante uma análise aprofundada dos benefícios e malefícios que tal recurso acarreta dentro do ambiente marítimo. A compreensão de mecanismos de degradação que ofereçam riscos ao projeto torna-se essencial para o bom planejamento de precauções a serem tomadas, a fim de não acarretar, no futuro, manutenções dispendiosas e não eficientes. Nesse contexto, a corrosão figura como uma das principais patologias a ser evitada e, por isso, exige maior cautela em seu tratamento.

Desta forma, sustentado nas teorias que serão expostas, esse trabalho propõe-se a fazer a análise de um estudo de caso retratando a influência do meio ambiente marítimo nas estruturas de uma edificação que utiliza de elementos metálicos na sua constituição, localizada no município de Cabedelo - PB. Também, será observada a eficiência dos procedimentos adotados para proteger às peças consideradas.

1. 1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Investigar a influência do ambiente marítimo na proteção de estruturas metálicas de um prédio residencial, em construção na orla de Cabedelo – PB, pela ocorrência de patologias.

1.1.2 Objetivos específicos

- Descrever o avanço das manifestações patológicas na edificação;
- Correlacionar a influência do ambiente marítimo às manifestações patológicas;
- Analisar qualitativamente a eficiência das proteções utilizadas nas estruturas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. ESTRUTURAS EM AÇO: HISTÓRICO, DEFINIÇÕES E TIPOS.

A inovação em pesquisas dentro da construção civil, pensando o Brasil, tem avançado a passos largos nas últimas décadas. Contudo, a reversão do conteúdo científico para o dia-a-dia prático ainda enfrenta certa resistência nos mais diversos setores do ramo e regiões do país. Como exemplo, podemos tomar o uso de estruturas metálicas que tem revolucionado metodologias de construção há quase duzentos anos no exterior, conquistando prazos de término inatingíveis para uma obra adequada do concreto tradicional e invadindo ambientes pensados demasiadamente hostis ao principal aglutinante da Engenharia Civil. De acordo com o Centro Brasileiro da Construção em Aço (2018), CBCA, somente próximo ao início do século XX, a demanda crescente por pontes e edifícios promoveu as primeiras importações de estruturas metálicas pré-fabricadas ao Brasil, quando o aço começou a ser utilizado. Esse, em meados da década de 50, conquistou produção nacional, logo após instalação da primeira siderúrgica do país, a Companhia Siderúrgica Nacional, CSN, ganhando certo protagonismo dentro de construções ordinárias.

Segundo CBCA (2018), atualmente, a indústria dispõe de mais de 3500 tipos diferentes de aços e cerca de 80% deles foram desenvolvidos nos últimos 20 anos. Tal estatística prova a evolução que o segmento tem experimentado. Nos dias de hoje, amplamente utilizado para armaduras de tração ou reforço de compressão em elementos como lajes, vigas e pilares, o aço estrutural, assim chamado pela capacidade de suporte de cargas, é um material comum a qualquer canteiro de obra (BRINCK, 2004, apud CÂNDIDO, 2003). Entre os aços estruturais, encontram-se: Aços-Carbono (média resistência mecânica); Aços de Baixa Liga (média e alta resistência mecânica, resistentes à corrosão atmosférica); Aços Resistentes ao Fogo (alta resistência mecânica, resistentes à corrosão atmosférica), como pode ser visto na Tabela 1. Segundo Brinck (2004), sua importância é tamanha por propriedades como elevada tensão de escoamento, alta tenacidade, boa soldabilidade, ductilidade, homogeneidade microestrutural e ainda a possibilidade de ser forjado, laminado, estampado, trefilado, fundido, caldeado, soldado, usinado e modificado em suas propriedades por meio de tratamentos mecânicos, térmicos e químicos.

Tabela 1 - Classificação dos principais grupos de aços estruturais

TIPO	LIMITE DE ESCOAMENTO MÍNIMO, Mpa
Aço carbono de média resistência	195 a 259
Aço de alta resistência e baixa liga	290 a 345
Aços ligados tratados termicamente	630 a 700

Fonte: CBCA (2018)

Ainda com inúmeros benefícios, quando avaliado em sistemas construtivos racionalizados, percebe-se que representa uma pequena parcela do total de empreendimentos, justificada pela exigência de uma mão de obra qualificada e maior investimento inicial. O conservadorismo, que mina as construções em aço, priva muitas edificações de vantagens como o melhor aproveitamento de área útil, alívio de cargas na fundação, precisão construtiva, maior produtividade, diminuição do prazo de execução e preservação da sustentabilidade, garantida pelo menor impacto ao meio ambiente. A tendência de industrializar a construção, listando tantos ganhos, não passa despercebida aos empreiteiros e construtoras que buscam eficiência, rendimento e, além disso, bom desempenho, exigência do cliente. A aceleração da entrega de um projeto representa a antecipação de ganho e capital investido, que é o principal objetivo de corporações capitalistas.

Uma breve análise de mercado aponta o ASTM 36 como um dos tipos de aço mais requisitados, o qual se identifica como um aço carbono de média resistência mecânica. Ademais, constata-se uma predisposição às estruturas cada vez maiores e mais altas, o que acarreta dimensionamentos robustos e obriga projetistas a optarem por aços com maior resistência mecânica e baixa liga, objetivando não sobrecarregar a estrutura com seu peso próprio. Esses também têm como característica o melhoramento da resistência à corrosão atmosférica, ao choque e ao limite de fadiga, sendo a primeira o maior motivo de destaque do material. De acordo com a CBCA, os aços de alta resistência e baixa liga resistentes à corrosão atmosférica possuem como maior diferencial a capacidade de desenvolver em sua superfície, sob certas condições ambientais de exposição, uma película de óxidos aderente e protetora, chamada pátina, que funciona retardando a celeridade de ataques corrosivos. A formação da mesma se dá em função da composição química do aço, sendo cobre e fósforo os principais elementos contribuintes do combate da corrosão. Também é formada pelos fatores ambientais, analisando presença de dióxido de enxofre e cloreto de sódio na atmosfera,

temperatura, força dos ventos e ciclo de umedecimento e secagem; não se recomenda a utilização em atmosferas marinhas, de acordo com a taxa de deposição de cloretos sem revestimentos protetivos. Por fim, variáveis ligadas à geometria da peça também podem afetar a geração da pátina.

A Tabela 2 faz um paralelo entre a composição química e as propriedades mecânicas de aços. Sendo o ASTM A36 um aço carbono de média resistência mecânica, o ASTM A572 (Grau 50) um aço de alta resistência mecânica e baixa liga e os ASTM A588 (Grau B) e ASTM A242 dois aços de baixa liga e alta resistência mecânica, resistentes à corrosão atmosférica.

Tabela 2 - Comparativo de composição química e propriedades mecânicas de aços ASTM

ELEMENTO QUÍMICO	ASTM A36 (PERFIS)	ASTM A572 (GRAU 50)	ASTM A588 (GRAU B)	ASTM A242 (CHAPAS)
% C máx.	0,26	0,23	0,20	0,15
% Mn	... (1)	1,35 máx.	0,75-1,35	1,00 máx.
% P máx.	0,04	0,04	0,04	0,15
% S máx.	0,05	0,05	0,05	0,05
% Si	0,40	0,40 máx.3	0,15-0,50	...
% Ni	...	...	0,50 máx.	...
% Cr	...	...	0,40-0,70	...
% Mo	...	...	...	...
% Cu	0,202	...	0,20-0,40	0,20 mín.
% V	...	...	0,01-0,10	...
(% Nb + % V)	...	0,02-0,15	...	...
Limite de escoamento (Mpa)	250 mín.	345 mín.	345 mín.	345 mín.
Limite de resistência (Mpa)	400-550	450 mín.	485 mín	480 mín
Alongamento Após ruptura, % (lo = 200mm)	20 mín.	18 mín.	18 mín	19 mín

Fonte: CBCA (2018)

(1): Para perfis de peso superior a 634 kg/m, o teor de manganês deve estar situado entre 0,85 e 1,35% e o teor de silício entre 0,15 e 0,40%.

Englobam alguns dos produtos e sistemas de construção em aço os perfis formados a frio, perfis laminados, perfis soldados, light steel frame, steel deck, telhas, painéis de vedação e esquadrias. Exemplos podem ser vistos nas Figuras 1 e 2.

Figura 1 - Construção light steel frame.



Fonte: Google Imagens.

Figura 2 - Laje Steel Deck



Fonte: Google Imagens

2.2 CORROSÃO

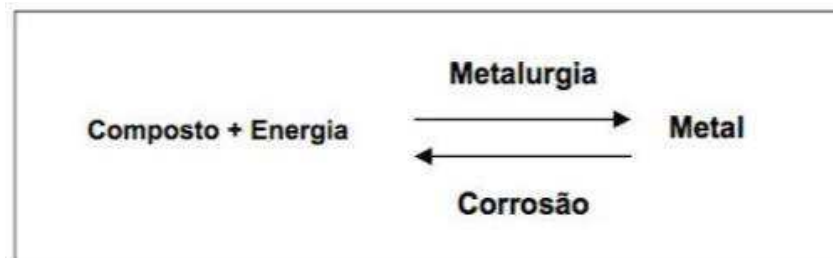
Um dos mecanismos de deterioração mais comum em estruturas de aço é a corrosão. Os sistemas de pintura que providenciam proteção ao aço também estão susceptíveis a degradação e esses influenciam o estado de conservação da estrutura. Para planejamento de

medidas preventivas e ativas, o conhecimento de como funcionam os artifícios de desgaste, além de suas principais consequências e causas, é fundamental.

“A corrosão pode ser vista como a deterioração de um material, geralmente, metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente, aliada ou não a esforços mecânicos. Em alguns casos, a corrosão pode ser vista como o inverso do processo metalúrgico, em que o produto da corrosão de um metal é bem semelhante ao minério do qual é originalmente extraído. Como o metal obtido encontra-se em um nível energético superior ao composto que lhe deu origem, há uma tendência de que o metal retorne à condição de compostos, em um processo inverso ao metalúrgico, liberando energia para o meio ambiente”. (MEIRA,2017 apud. GENTIL, 1996).

A Figura 3 ilustra o ciclo descrito:

Figura 3 - O processo de corrosão como o inverso do processo metalúrgico

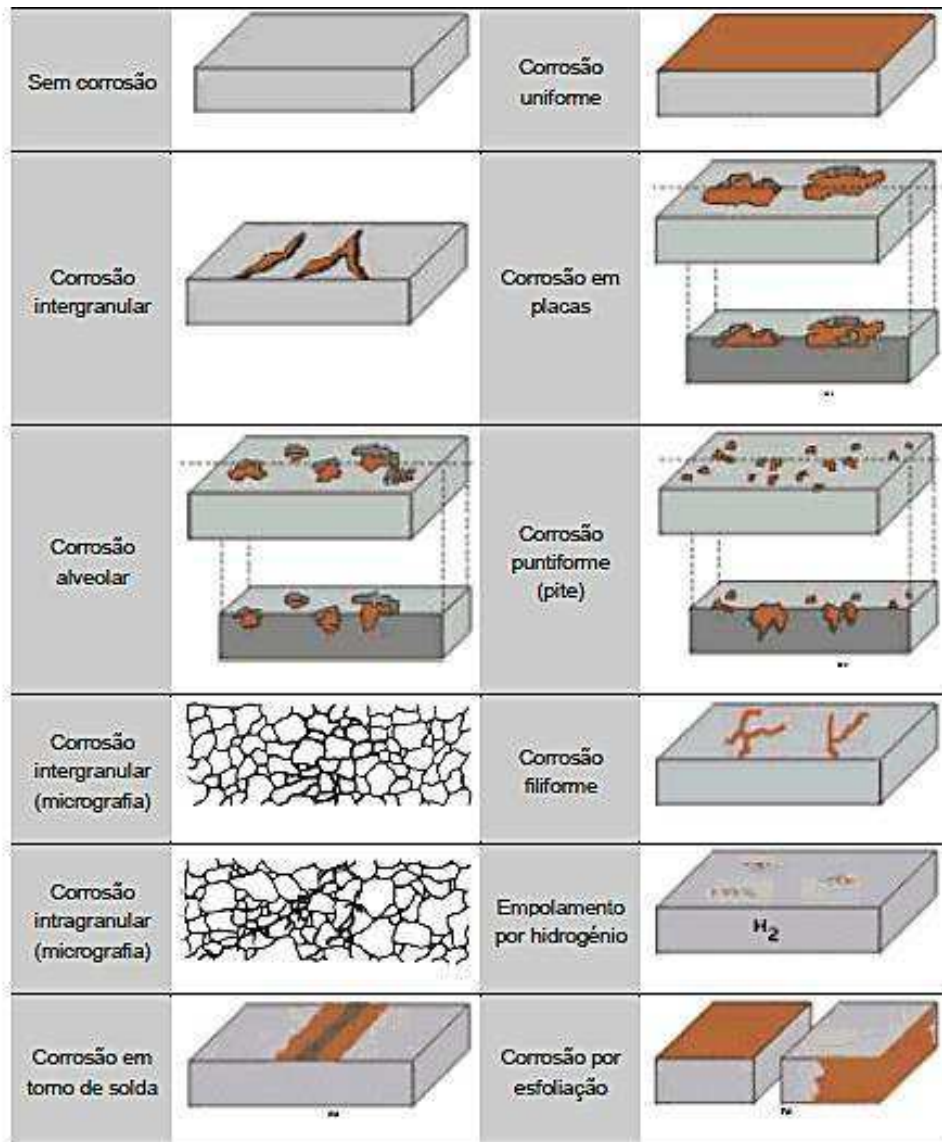


Fonte: GENTIL (1996).

Os dois tipos de mecanismo de corrosão citados por Meira (2017) apud. Gentil (1996), químico e eletroquímico, acontecem de formas distintas.

A interação direta do metal com os gases do meio, formando produtos de corrosão, é característica da corrosão química (GENTIL, 1996). Sua relevância é pouca para obras civis devido à baixa velocidade da reação, em temperatura ambiente, que não consegue atingir graus de deterioração significativos (HELENE, 1993). Já a corrosão eletroquímica acontece pela formação de uma pilha eletroquímica, com uma reação de oxidação e outra de redução, existindo: a presença de um ânodo, de um cátodo, de um diferencial de potencial entre ambos e uma ligação externa caracterizada pela condução iônica por eletrólito (MEIRA, 2017). Ou seja, ocorre onde regiões ou pontos com potenciais eletroquímicos diferentes, em virtude de pequenas alterações na composição do metal, de diferentes níveis de tensão, de variações de temperatura, de diferentes graus de aeração, ou de alterações do meio ambiente se comportam como contatos elétricos abertos e na presença de umidade, com a dissolução de sais ou gases, fecham o circuito desencadeando o processo de corrosão como apresentado na Figura 4 (BRINCK, 2004).

Figura 5 - Formas de corrosão



Fonte: SERRA (2012) apud GENTIL (1996)

Ainda segundo Serra (2012), é indispensável destacar as seguintes classificações pela aparência do metal:

- **Corrosão uniforme:** processa-se por toda a superfície de uma peça metálica, ocorrendo perda uniforme de espessura. É facilmente identificada pela formação de uma camada visível e pouco aderente de óxido de ferro. Tipo de corrosão mais comum em estruturas metálicas, geralmente ocasionado pela corrosão atmosférica.

- **Corrosão puntiforme:** representada pela formação de cavidades com pequena extensão e profundidade, chamados de pites. Tipo de corrosão localizada, habitualmente observada em estruturas metálicas protegidas, quando suas camadas protetoras são rompidas em determinados pontos por contaminantes como os cloretos. É um tipo de corrosão usual, sobretudo em meios aquáticos e salinos e tem grande capacidade destrutiva.
- **Corrosão filiforme:** ocorre sob a forma de finos filamentos, não profundos, que se propagam em diferentes direções sem se cruzarem. Processa-se em superfícies metálicas revestidas com tintas ou com metais e ocasionam o deslocamento do revestimento. Frequentemente, aparece em meios com umidade relativa do ar superior a 85% ou em revestimentos mais permeáveis à penetração de oxigênio e água.

Além dessas, faz-se relevante citar a corrosão galvânica, que segundo Mainier, Lima e Quelhas (2002), pode ser ocorrer de duas maneiras.

A primeira é a reação direta entre o zinco e o meio corrosivo. Essa pode ocorrer sob a ação de atmosfera agressiva. Geralmente, é chamada de “ferrugem branca”, pois os produtos da reação entre o zinco e o oxigênio são óxido de zinco e hidróxido de zinco. Castro (1999) explica que este tipo de corrosão se apresenta sob a forma de um composto pulverulento, de coloração cinzenta a branco, formado na superfície da chapa metálica.

A segunda é a corrosão agindo diretamente sobre a superfície do aço quando a proteção de zinco apresenta pequenas falhas ou uma elevada porosidade. Nesse caso, de acordo com Silva (2017), o zinco funciona como o anodo, enquanto a superfície exposta do aço é protegida catodicamente.

Além dessas, outro tipo de corrosão que assola as peças de aço zincado é chamada de par galvânico, que costuma derivar da utilização de diferentes metais em simultâneo, levando à formação de uma pilha eletrolítica. Quanto maior a diferença de potencial eletroquímico entre as partes, maior a corrosão. É usual nas ligações parafusadas e nas cobertas.

2.3 AMBIENTE DE AGRESSIVIDADE

É de fundamental importância o conhecimento da natureza do ambiente em que se encontram as estruturas metálicas. Pelo enfoque deste trabalho, a atmosfera se caracteriza como protagonista de análises subsequentes. A quantidade de agentes agressivos dispersos no meio induz de forma significativa o período de início de degradação da estrutura, sendo umidade relativa, temperatura, substâncias poluentes e fatores climáticos (intensidade e direção dos ventos, variação cíclica de temperaturas e umidade, chuva e insolação) variáveis que devem ser levadas em consideração (SERRA, 2012).

2.3.1 Qualificação da agressividade de uma atmosfera segundo a ISO 12944-2

A ISO 12944-2 é uma norma internacional que classifica a agressividade de diferentes meios em relação às estruturas de aço-carbono e aço galvanizado. Segundo a norma, revista em 2017, os ambientes atmosféricos podem ser classificados em cinco categorias de corrosividade:

- C1: muito baixa agressividade;
- C2: baixa agressividade;
- C3: média agressividade;
- C4: alta agressividade;
- C5: muito alta agressividade – industrial;
- CX: extrema agressividade.

A Tabela 3 define as categorias de agressividade em termos de perda de massa (ou espessura) de espécimes padronizados, confeccionados em aço de baixo carbono ou zincados, expostos à atmosfera e retirados após 365 dias de exposição. Ainda, fornece exemplos de ambientes típicos correlatos com finalidade de estimativa, visto que apenas a perda de massa/espessura fornecerá classificação precisa.

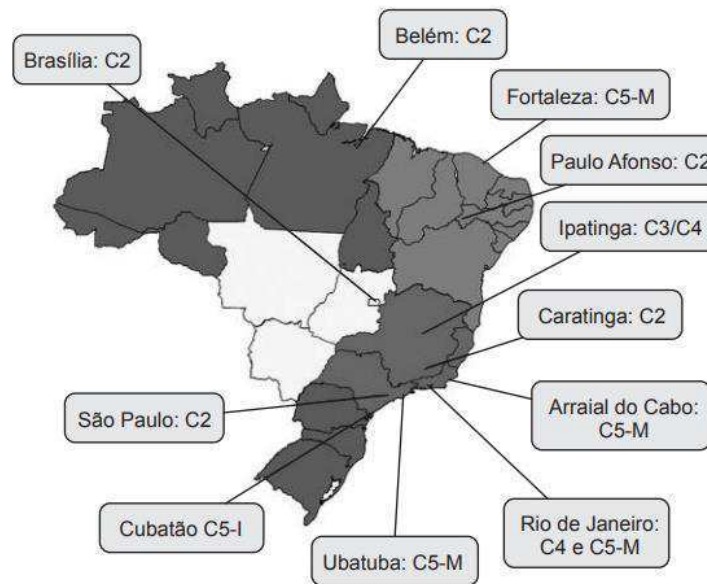
Tabela 3 - Agressividade ambiental segundo a ISO 12944-2:2018.

Categoria de agressividade	Perda de massa e espessura, após 365 dias de exposição.		Perda de massa e espessura, após 365 dias de exposição.		Exemplo de ambientes típicos	
	Aço baixo carbono		Aço zincado		Exterior	Interior
	Perda de massa (g/m ²)	Perda de espessura (µm)	Perda de massa (g/m ²)	Perda de espessura (µm)		
C1 (muito baixa)	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1	-	Edificações condicionadas para o conforto humano (residências, escritórios, lojas, escolas, hotéis).
C2 (baixa)	> 10 a 200	> 1,3 a 25	> 0,7 a 5	> 0,1 a 0,7	Atmosferas com baixo nível de poluição. A maior parte das áreas rurais.	Edificações onde a condensação é possível, como armazéns e ginásios cobertos.
C3 (média)	> 200 a 400	> 25 a 50	> 5 a 15	> 0,7 a 2,1	Atmosferas urbanas e industriais com poluição moderada por SO ₂ . Áreas costeiras de baixa salinidade.	Ambientes industriais com alta umidade e alguma poluição atmosférica, como lavanderias, fábricas de alimentos, etc.
C4 (alta)	> 400 a 650	> 50 a 80	> 15 a 30	> 2,1 a 4,2	Áreas industriais e costeiras de salinidade moderada.	Ambientes como indústrias químicas e coberturas de piscinas.
C5 (muito alta)	> 650 a 1500	> 80 a 200	> 30 a 60	> 4,2 a 8,4	Áreas industriais com alta umidade e atmosfera agressiva e áreas costeiras com alta salinidade.	Edificações ou áreas com condensação quase que permanente e com alta poluição.
CX (extrema)	> 1500 a 5500	> 200 a 700	> 60 a 80	> 8,4 a 25	Áreas offshore com alta salinidade de áreas industriais com extrema umidade e atmosfera agressiva e atmosferas tropicais e subtropicais.	Áreas industriais com extrema umidade e atmosfera agressiva.

Fonte: ISO 12944-2:2018.

A metodologia do processo de classificação é regida pela ISO 9226 e foi reproduzida em ambientes brasileiros por Morcillo, M. et al. (1998), na versão da ISO 12944-2 prévia a atualização, quando a classe C5 era dividida em industrial (C5-I) e marínha (C5-M). Os dados estão descrito na Figura 6.

Figura 6 - Agressividade atmosférica no Brasil



Fonte: MORCILLO, M. et al. (1998)

2.3.2 Ambiente marítimo

O ambiente marítimo, objeto do estudo de caso, é considerado o meio que abrange as áreas influenciadas pela proximidade ao oceano, incluindo as zonas costeiras. A zona costeira afetada pelo ambiente marítimo atinge normalmente cerca de 10 km da linha da costa, mas esta distância pode, por vezes, ser 10 vezes superior, dependendo da situação meteorológica que se registrar (SERRA, 2012).

Atenção especial aos cloretos, vilões em atmosferas marinhas. Segundo Pannoni (2017), a deposição de cloretos aumenta de modo muito característico a velocidade de corrosão dos aços carbono. Os complexos ferro-cloreto que são formados em ambientes marinhos tendem a ser solúveis, confirmando a aceleração da reação. Com base nesse fato, metais tais como o zinco e o cobre, cujos cloretos são menos solúveis do que os de ferro, devem ser menos susceptíveis ao ataque por cloretos. Esta observação é confirmada na prática.

Os cloretos podem ser depositados como pequenas gotas ou cristais formados a partir da evaporação da névoa salina, carregada pelos ventos a partir do mar. Em ambientes marinhos, a deposição de cloretos usualmente decresce fortemente com o acréscimo da distância da

praia, pois as gotículas que compõe a névoa salina são decantadas por gravitação ou são filtradas quando o vento passa pela vegetação e edificações. O fenômeno pode ser caracterizado através do ensaio de vela úmida.

“Em estudo realizado na região Nordeste do Brasil, Meira, Andrade e Alonso (2011) propuseram que a zona de atmosfera marinha se estenda até uma taxa média de deposição de cloretos na vela úmida de $10 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{dia}$ e que, acima desse valor, fossem consideradas duas subzonas de agressividade (...). É importante lembrar que essa proposta está baseada na preponderância da presença dos íons cloreto na zona de atmosfera marinha”. (MEIRA, 2017)

A Tabela 4 compila as informações geradas por Meira, Andrade e Alonso (2011):

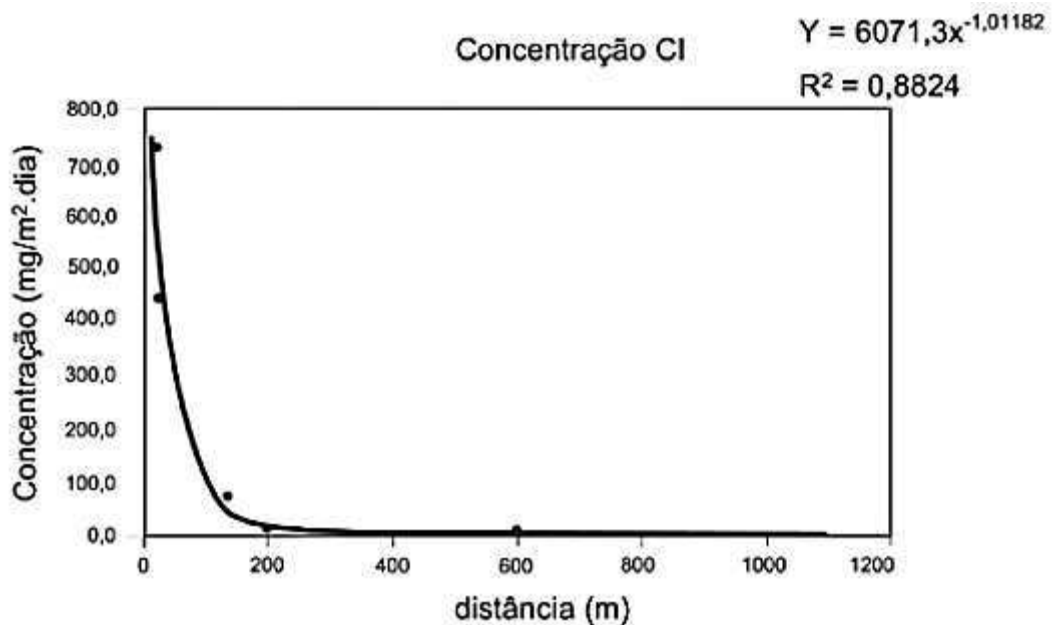
Tabela 4 - Subzonas de agressividade em zona de atmosfera marinha

Subzonas de agressividade	
Níveis de agressividade	Taxa de deposição de cloretos ($\text{mg/m}^2 \cdot \text{dia}$)
Alta	Maior que 100
Moderada	Entre 10 e 100
Desprezível	Menor que 10

Fonte: Adaptado de MEIRA, ANDRADE e ALONSO (2011).

Meira & Padaratz (2002) coletaram dados na cidade de João Pessoa - PB, utilizando-se do método da vela úmida normatizado pela ABNT NBR 6211:(2001). Durante cinco meses, analisaram a deposição de cloretos em estações distantes 10, 100, 200, 500 e 1100m. A Figura 7 ilustra a compilação de resultados apresentando a relação entre a taxa de deposição em função da distância à costa.

Figura 7 - Perfil de concentração de cloretos x distância em relação ao mar.



Fonte: MEIRA & PADARATZ (2002)

A observação do gráfico da Figura 7 leva a conclusão de que o teor de cloretos presentes no ar atmosférico tem uma queda brusca após os primeiros 200m.

2.4 PROTEÇÃO DAS ESTRUTURAS METÁLICAS

Acompanhando a diversidade de tipos de corrosão, temos as técnicas de proteção do aço contra a mesma, que, de acordo com Castro (1999), podem ser divididas em três categorias de maior utilização:

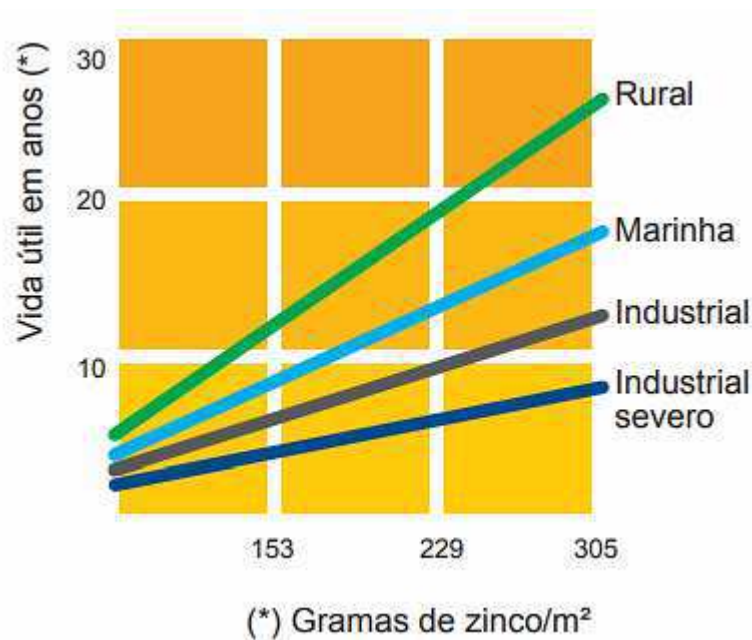
- Revestimentos metálicos;
- Revestimentos orgânicos convencionais –tintas;
- Revestimentos obtidos por conversão química, por exemplos, fosfatização e cromatização.

A opção por qualquer sistema de proteção deve passar por uma avaliação de fatores cruciais como o custo, o objetivo da estrutura, condições ambientais, características de utilização, vida útil, programa de manutenção, etc. Geralmente, essa análise converge ao

revestimento orgânico convencional, tradicionalmente o mais empregado. Logo após, fica a utilização do revestimento metálico e por último está a escolha pela fosfatização.

Os últimos dois processos também são chamados de galvanização, caracterizados pelo recebimento de um banho de metal mais nobre na peça de aço. São feitos majoritariamente com o zinco, o qual possui a função de estabelecer um par galvânico em que a camada superficial de zinco funciona como ânodo, enquanto que o aço como cátodo. Nas construções de aço ele pode ser encontrado principalmente no revestimento de telhas galvanizadas, lajes (deck metálicos), parafusos zincados e chaparias em geral (rufos, arremates, calhas, etc) (CASTRO, 1999). A Figura 8 apresenta um gráfico com a estimativa de vida útil de telhas de aço galvanizado em diferentes atmosferas correspondendo a gramatura de zinco por metro quadrado.

Figura 8 - Estimativa de vida útil de aços zincados em diferentes atmosferas



Fonte: Catálogo de telhas Gerdau (2019)

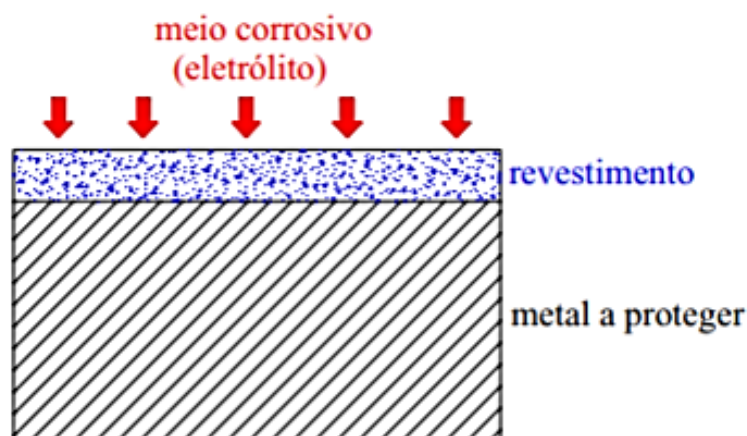
Tratando-se da mais utilizada forma de proteção: segundo Silva (1981), são classificados como revestimentos orgânicos as tintas, vernizes, lacas, esmaltes, resinas, dispersões e emulsões. Contudo, genericamente, a denominação de “tinta” se aplica a todos eles ou qualquer composição pigmentada, pastosa ou líquida, que, aplicada em finas camadas sobre uma superfície, venha a formar uma película sólida e aderente.

Devido ao custo, a eficiência, a facilidade de aplicação e manutenção, a pintura de estruturas metálicas com tinta é amplamente utilizada para proteção contra a corrosão. A fim de ter alto desempenho, estas tintas devem possuir pelo menos três propriedades importantes: aderência, impermeabilidade e flexibilidade (GNECCO, MARIANO E FERNANDES, 2006).

Aderência é fundamental para restringir a expansão do processo de corrosão, que surge em falhas e danos florescentes na película devido ao passar do tempo. Nas tintas anticorrosivas a impermeabilidade é também essencial, pois os agentes corrosivos (oxigênio e vapor de água) devem ser mantidos afastados do metal. Por fim, destaca-se a flexibilidade que demonstra sua importância nos processos de dilatação térmica, evitando fissuração e trincas do sistema de revestimento.

Quanto aos mecanismos de proteção, é correto afirmar que as tintas funcionam como uma barreira física que impede a ocorrência de reações catódicas, como na Figura 9. Alguns tipos de tinta ainda oferecem um segundo mecanismo que atua por inibição anódica. Isso acontece pela presença de algum tipo de pigmento inibidor na tinta, a exemplo do fosfato de zinco ou zarcão nas tintas de fundo. Existe ainda um terceiro mecanismo conhecido por proteção catódica, que pela adição de outros tipos de revestimento à base de zinco, conseguem uma atuação semelhante ao que ocorre em elementos galvanizados.

Figura 9 - Mecanismo de proteção por revestimento



Fonte: NUNES (1990)

Também é possível classificar as tintas segundo sua disposição e propriedades. As tintas de fundo, conhecidas como primers, são costumeiramente classificadas de acordo com o

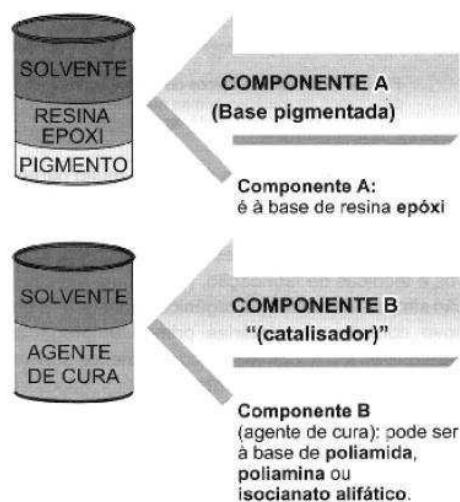
principal pigmento anticorrosivo participante, enquanto que as tintas intermediárias e de acabamento são usualmente classificadas de acordo com a resina empregada, como por exemplo, epoxídicas, acrílicas, alquídicas, etc.

Os tipos de tintas mais importantes para a proteção do aço carbono, tendo como classificação o tipo de resina, são, de acordo com Castro (1999):

1. Alquídicas. Conhecidas como esmaltes sintéticos, são tintas mono componentes de secagem ao ar. Podem ter sua utilização aplicada a interiores secos e abrigados, ou em exteriores não poluídos. Não são resistentes à ciclos de molhagem ou imersão em água;

2. Epoxídicas. São tintas bicomponentes de secagem ao ar. A cura se dá pela reação química entre os dois componentes. O componente A é, de modo geral, à base de resina epoxídica, e o B, o agente de cura, pode ser à base de poliamida, poliamina ou isocianato alifático. A Figura 10 representa através de esquema didático. Em escala de impermeabilidade são intermediárias, além de serem mais resistentes aos agentes químicos do que as alquídicas. Resistem à umidade, imersão em água doce ou salgada, lubrificantes, combustíveis e diversos produtos químicos. As epoxídicas à base de água têm a mesma resistência daquelas formuladas à base de solventes orgânicos. De modo geral, não são indicadas para a exposição ao intemperismo (ação do sol e da chuva), pois desbotam e perdem o brilho (calcinação);

Figura 10 - Esquema de tintas epoxídicas



Fonte: GNECCO, MARIANO E FERNANDES (2006)

3. Poliuretânicas. São tintas bicomponentes em que o componente A é baseado em resina de poliéster ou resina acrílica, e, o B, o agente de cura, é à base de isocianato alifático. As tintas poliuretânicas são bastante resistentes ao intemperismo. Assim, são indicadas para a pintura de acabamento em estruturas expostas ao tempo. São compatíveis com primers epoxídicos e resistem por muitos anos com menor perda da cor e do brilho originais;

4. Acrílicas. São tintas monocomponentes à base de solventes orgânicos ou de água, e, assim como as tintas poliuretânicas, são indicadas para a pintura de acabamento. São tintas bastante resistentes à ação do sol.

Além do tipo, é de extrema importância a especificação de valores adequados para espessura da pintura. Na Tabela 5 estão exemplificados valores segundo ISO 12944-5:(2018) para classe de agressividade C5, de acordo com ISO 12944-2:(2018).

Tabela 5 - Sistemas de pintura para aço carbono para categoria de corrosividade C5

Sistema	Tipo de primer	Nº de demãos	Espessura μm	Acabamento	Sistema de pintura		Durabilidade			
					Nº de demãos	Espessura total (μm)	C5 muito alta corrosividade			
							L	M	H	VH
C5.01	primer epóxi	1	80 a 160	poliuretano	2	180				
C5.02	primer epóxi	1	80 a 160	poliuretano	2-3	240				
C5.03	primer epóxi	1	80 a 240	poliuretano	2-4	300				
C5.04	primer epóxi	1	80 a 200	poliuretano	3-4	360				
C5.05	primer rico em Zn	1	60 a 80	poliuretano	2	160				
C5.06	primer rico em Zn	1	60 a 80	poliuretano	2-3	200				
C5.07	primer rico em Zn	1	60 a 80	poliuretano	3-4	260				
C5.08	primer rico em Zn	1	60 a 80	poliuretano	3-4	320				

Fonte: GNECCO & NACIUK (2018)

Na Tabela 5, a durabilidade está associada ao L (low) correspondente a baixa –até 7 anos, M (médium) correspondente a média –de 7 a 15 anos, H (high) correspondente a alta –de 15 a 25 anos) e VH (very high) correspondente a muito alta –mais do que 25 anos.

2.5 PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE

De acordo com Gnecco, Mariano e Fernandes (2006), o preparo adequado da superfície que irá receber a pintura é de fundamental importância para um desempenho satisfatório da ação protetiva do revestimento.

“As tintas aderem aos metais por ligações físicas, químicas ou mecânicas. As duas primeiras ocorrem através de grupos de moléculas presentes nas resinas das tintas que interagem com grupos existentes nos metais. A ligação mecânica se dá sempre associada a uma das outras duas e implica na necessidade de uma certa rugosidade na superfície.” (GNECCO, MARIANO E FERNANDES, 2006)

Procedimentos que viabilizem a obtenção de limpeza e rugosidade são constituintes da metodologia de preparação da superfície. A primeira tem a função de extinguir impurezas, exemplificadas por contaminantes, oxidações e tintas mal aderidas. Já tratando sobre rugosidade, pode-se afirmar que sua principal finalidade é a ancoragem mecânica com o aumento da superfície de contato e da aderência.

Restrições operacionais, custo de preparação, tempo e métodos disponíveis serão fatores determinantes do grau de preparação da superfície. Além desses, deve-se citar o tipo de superfície e a seleção do esquema de tintas em função da agressividade do meio em que está inserida a construção.

Para uma eficiente preparação de superfícies de aço, ficou convencionado o uso de algumas normas internacionais dentre as principais citadas a seguir:

- NORMA ISO 8501-1 – PREPARATION OF STEEL SUBSTRATES BEFORE APPLICATION OF PAINTS AND RELATED PRODUCTS.
- NORMA SSPC – Steel Structures Paint Council
- NORMA NACE RM 0170 – NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS.

2.6 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DAS TINTAS

Na prática, é incoerente desprezar a susceptibilidade à deterioração dos revestimentos orgânicos pela ação de intempéries e demais mecanismos agressivos. A velocidade desse processo fica relativizada ao tipo de tinta empregado e as condições ambientais.

Durante a vida útil do revestimento, depois de algum tempo, o eletrólito tende a alcançar a superfície metálica devido à porosidade natural da película, dando início ao processo corrosivo (CASTRO, 1999). A constatação implica a necessidade de um calendário de manutenção com repinturas e reparos.

Contudo, existem casos em que o comportamento da tinta não acontece como planejado e acaba comprometendo a eficiência protetiva do revestimento. Os defeitos podem ser estudados em três classes: de ordem estética, de ordem geral e de ordem econômica.

2.6.1 Defeitos de ordem estética

São caracterizados pelo descumprimento de um visual agradável, mas a conservação da eficiência. Geralmente, são provocados por inadequações durante a aplicação.

Impregnação: superfície da tinta apresenta-se áspera como lixa;

Escorrimento: a tinta apresenta-se escorrida sobre a superfície metálica;

Pele ou casca de laranja: a película de tinta apresenta-se rugosa, semelhante a uma casca de laranja;

Sobreaplicação: a película fica com um aspecto fosco e pulverulento.

2.6.2 Defeitos de ordem geral

São defeitos cuja ocorrência pode prejudicar a eficiência da película de tinta, dando início a processos corrosivos. Em geral são provocados por problemas de aplicação ou composição de tinta.

Empolamento: formação de nódulos ou bolhas sob a película devido ao aprisionamento de algum fluido;

Calcinação: degradação da resina pela ação dos raios violetas ocasionando a perda do brilho e, às vezes, da cor;

Fendilhamento: faturamento ou craqueamento; consiste na quebra da película devido à perda de flexibilidade;

Descascamento: ocorre devido à perda de aderência entre a película e o aço, ou entre películas de diferentes demãos;

Enrugamento: ondulação da película devida uma secagem irregular;

Sangramento: manchamento da película da tinta por causa do afloramento da cor da tinta de fundo.

2.6.3 Defeitos de ordem econômica

São defeitos que geram prejuízos financeiros ao fabricante devido ao aumento de consumo de tinta. Dão-se pelo consumo elevado proveniente de falhas de execução e pela falta de uniformidade na espessura da película, que está relacionado ao aplicador.

3 MATERIAIS E MÉTODO

Esse trabalho baseia-se, inicialmente, em pesquisas qualitativas realizadas por meio de uma revisão bibliográfica sobre a tipologia de influência do ambiente marítimo na vida útil das estruturas metálicas, inclusive consultas a websites com informações técnicas sobre o assunto, extraídas em bibliografias nacionais e internacionais (livros, artigos, dissertações, teses, periódicos, normas, guias e manuais técnicos).

Para chegar aos objetivos geral e específicos da pesquisa, com o intuito de identificar as manifestações patológicas e suas causas, adotou-se como metodologia principal a observação do diário de obra e o acompanhamento com registros fotográficos do avanço das patologias na estrutura metálica e em seu revestimento; também a análise sobre o processo de construção e manutenção adotados foi realizada. Uma análise do microambiente foi incorporada para embasamento da investigação. O desfecho do diagnóstico envolveu, além da identificação das causas relacionadas ao problema estudado, a disseminação dessas informações, de forma clara e didática, indicando, inclusive, como evitar os problemas encontrados em situações semelhantes.

4 OBJETO DE ESTUDO

A obra fica localizada na Av. Cassiano da Cunha Nóbrega, 530 - Praia Formosa, beira-mar de Cabedelo – PB, município conurbado a João Pessoa - PB. Como mostrado na Figura 11, encontra-se inserida em uma faixa litorânea banhada pelo Oceano Atlântico.

Figura 11 - Imagem de Satélite da Obra em Estudo



Fonte: Google Maps (2019)

O projeto da estrutura espacial está disponível no ANEXO A e é composto por perfis dobrados em aço SAC-300, perfis I(W) em aço ASTM A572 Gr. 50, chapas em aço ASTM A244, chumbadores em ASTM A36 e parafusos em ASTM A325 para ligações principais – tesouras, e em ASTM A307 para ligações secundárias. Ainda, foram usadas soldas E7018. Toda a matéria-prima foi fornecida pela GERDAU, enquanto as furações e soldagens ficaram a cargo da empresa METALTECH. A Figura 12 mostra o galpão onde acontecem os procedimentos.

Figura 12 - Chão de fábrica METALTECH



Fonte: Autor (2019)

Quanto ao revestimento da superfície metálica, sabe-se que teve preparação com jateamento abrasivo grau SSPC SP10 utilizando limalha de ferro - correspondente ao Sa 2^{1/2}, seguido de uma demão de primer a base de epóxi com 150µm e uma demão de esmalte sintético a base de epóxi em cor diferente da pintura da base também com 30 µm, ambos da marca AMBRA Ltda aplicados com pistola convencional, totalizando revestimento de 180 µm. Além do mais, para as estruturas que ficariam permanentemente descobertas, utilizou-se a tinta PU acrílico também da AMBRA Ltda. Todos os procedimentos referentes à pintura das estruturas pré-instalação ocorreram durante a etapa de manufatura no chão de fábrica da METALTECH. Ainda sob responsabilidade da mesma, ocorreu à montagem que pode ser vista na Figura 13.

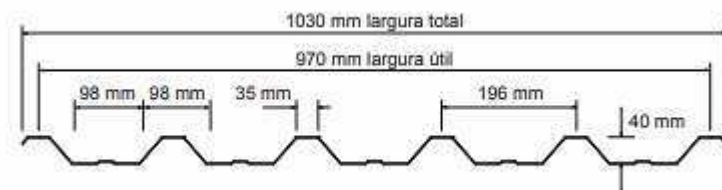
Figura 13 - Vista superior da 2ª laje da estrutura espacial



Fonte: Autor (2016)

O método construtivo elegido para lajes foi o steel deck utilizando a telhas de aço galvanizado Gerdau 40 trapezoidal de 0.8mm representada na Figura 14.

Figura 14 - Telha GERDAU trapezoidal 40 de 0.8mm



Fonte: Catálogo de telhas Gerdau (2019)

4.1 CARACTERIZAÇÕES DA ZONA DE ESTUDO

A costa paraibana faz parte de uma zona de clima tropical quente-úmido. A ação do mar na baixada litorânea determina elevados índices de umidade, além de chuvas abundantes (MELO E RODRIGUEZ, 2003).

4.1.1 Temperatura

Atingindo temperatura máxima de 30°C e mínima de 22°C, com média de 25,6°C, trata-se de uma região quente o ano inteiro com variação das temperaturas médias de 3°C. Os dados podem ser verificados na Tabela 6.

Tabela 6 - Dados climatológicos para Cabedelo

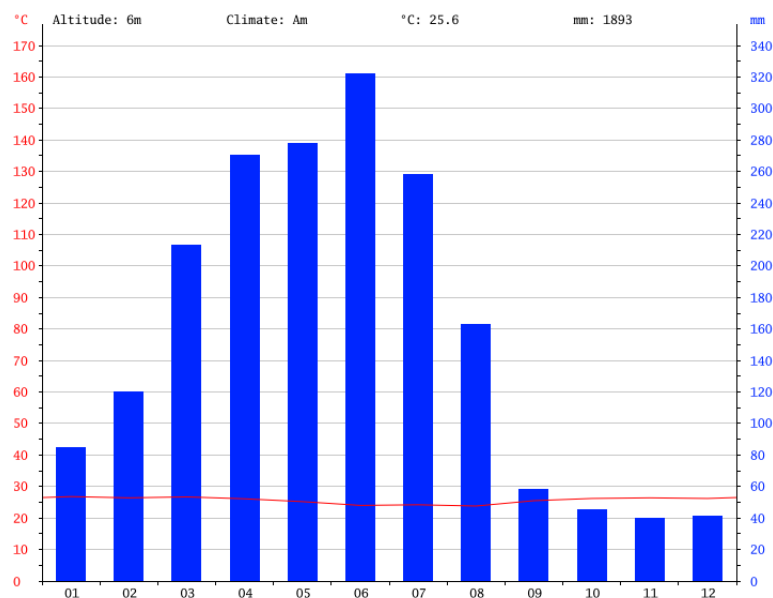
Dados climatológicos para Cabedelo													
Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Temperatura máxima média (°C)	30,9	30,6	30,5	30	28,8	27,5	27,7	28,1	29,3	30	30,3	30,2	29,5
Temperatura média (°C)	26,8	26,4	26,7	26,1	25,2	24	24,2	23,8	25,5	26,2	26,4	26,2	25,6
Temperatura mínima média (°C)	22,7	22,2	22,9	22,3	21,7	20,6	20,8	19,5	21,7	22,4	22,6	22,2	21,8
Precipitação (mm)	85	120	213	270	278	322	258	163	58	45	40	41	1 893

Fonte: CLIMATE-DATA.ORG (2019)

4.1.2 Pluviometria

Com uma média pluviométrica em torno de 1900 mm por ano, destacam-se as precipitações entre os meses de março e julho como mais elevadas. As informações estão dispostas na Figura 15.

Figura 15 - Temperatura e precipitações médias



Fonte: CLIMATE-DATA.ORG (2019)

4.1.3 Regime de ventos

De acordo com Silva (1999), o regime de ventos predominantemente diário, característicos das zonas costeiras, corresponde durante todo o ano aos ventos alísios de sudeste. Com relação às velocidades adquiridas, assumem variações de 0 a 9m/s, com média de 3,6 m/s. Ainda, segundo Souza (2010), os ventos se fazem mais frequentes e velozes nos meses menos quentes.

4.2 PROCEDIMENTOS OBSERVADOS IN LOCO

A montagem da estrutura metálica deveria ter sido realizada continuamente e por inteira de acordo com o projeto. Por razões de viabilidade financeira, o cronograma de execução teve de ser cumprido em duas etapas. Inicialmente, foram instalados os pilares, as vigas e o steel deck das primeiras duas lajes entre junho e julho de 2016. A concretagem ocorreu em seguida.

Figura 16 - Montagem de laje steel deck



Fonte: Autor (2016)

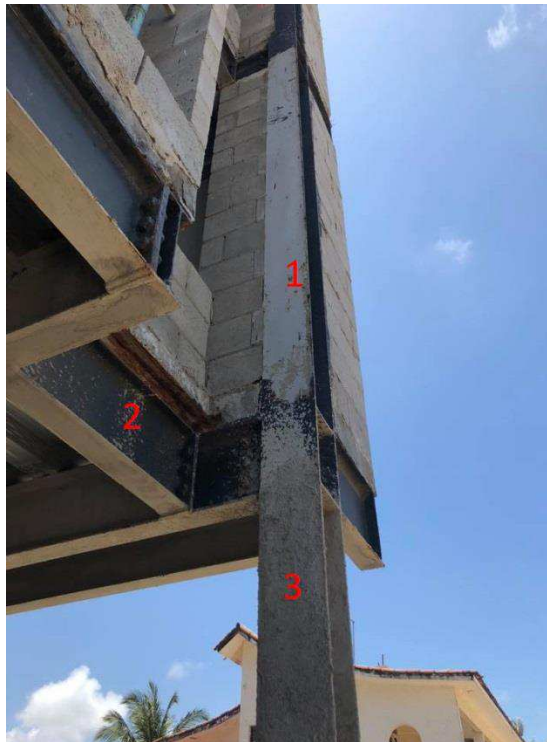
Após nove meses, a terceira, quarta e quinta laje tiveram início, em março de 2017. Na ocasião, foi feito um retoque in loco nas vigas e pilares das lajes um e dois localizadas entre

os planos de eixo D e K – até 100m da costa, devido à observação de focos corrosivos dispersos nessa área, encontrados em maior intensidade até o eixo J nas peças que recebiam aerossol marinho diretamente. A pintura foi realizada com primer epóxi em cor distinta da aplicação original, obedecendo aos seguintes procedimentos:

- Limpeza mecânica com escovas de aço e lixadeira, a fim de aumentar a rugosidade da superfície promovendo aderência para nova camada de tinta;
- Jato d'água com compressor, objetivando retirada de poeiras e impurezas;
- Pintura de cobertura com rolo e pincel.

A pintura, que havia sido planejada para cobertura consecutiva à instalação, ainda passou pouco mais de um ano exposta, tendo sido iniciado em julho de 2018 a execução de argamassa projetada na superestrutura, com exceção das formas da laje (telhas galvanizadas). A Figura 17 mostra a estrutura de fachada contando com três estágios distintos de proteção.

Figura 17 - Estrutura em três estágios distintos de revestimento



Fonte: Autor (2018)

O número 1 está localizado na lateral de um perfil que conta apenas com a primeira pintura de revestimento feita com o primer e o esmalte epóxi. O número 2 identifica uma viga já assistida pela repintura com primer epóxi. O número 3 representa a última fase de

revestimento: um pilar que recebeu a camada de argamassa projetada. Vale salientar que as peças indicadas com os números 1 e 2 ainda receberiam uma camada de PU acrílico prévia a instalação da pele de vidro prevista na fachada, visto que estariam sujeitas à exposição de um sistema de fachada ventilada.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CLASSIFICAÇÃO DO AMBIENTE

Correlacionando informações da Tabela 3 – Agressividade ambiental segundo a ISO 12944-2:(2018) e da Figura 6 – Agressividade atmosférica no Brasil, consoma-se uma classificação para o meio no qual a obra em questão está inserida: com base no ambiente típico de áreas costeiras com alta salinidade e nos dados acerca de Fortaleza – CE, cidade que mais se assemelha às condições de Cabedelo-PB, podemos dizer que o estudo de caso está inserido em uma atmosfera de categoria de agressividade C5.

Além dessa rotulação, visto que a obra está numa zona com distância inferior a 100m da zona de rebentação, na consulta a Figura 7- Perfil de concentração de cloretos x distância em relação ao mar, estima-se deposição de cloretos superior a 100 mg/m².dia. Pela Tabela 4- Subzonas de agressividade em zona de atmosfera marinha, o ambiente se enquadra como uma área com nível de agressividade alto.

Pela especificação de materiais, reforçado na Figura 8- Estimativa de vida útil de aços zincados em diferentes atmosferas, a expectativa de vida útil das telhas galvanizadas expostas a atmosfera marinha deveria estar próxima a 10 anos. Enquanto que, dado o sistema de pintura adotado para o aço das estruturas e inserido em atmosfera C5, a durabilidade é calculada baixa, prevista até 7 anos segundo a Tabela 5- Sistemas de pintura para aço carbono para categoria de corrosividade C5. A segurança promovida pelo projeto é satisfatória posto que a maior parte das estruturas não vão passar tempo superior a 5 anos expostas na condição atmosférica do estudo, pois serão confinadas por acabamentos de alvenaria e gesso.

5.2 ANÁLISES DA EVOLUÇÃO DE FOCOS CORROSIVOS

A seguir será exposto o acompanhamento qualitativo das estruturas no período entre outubro de 2018 e março de 2019, visando medir a eficiência dos métodos de proteção escolhidos e aplicados na obra, identificando as possíveis falhas no processo, sempre

associando ao tempo de exposição e a distância da costa, tendo o projeto que mostra o plano de bases encontrado no ANEXO B como apoio.

Observação I – Figuras 18 e 19

Localização: vigas e laje de cobertura da garagem, entre eixos K e J, cota de 3,3m.

Distância da costa: <70m

A Figura 18 representa o primeiro tempo de exposição dado por 2 anos e 3 meses, tendo sido registradas as imagens em outubro de 2018.

Figura 18 - Observação I em outubro de 2018



Fonte: Autor (2018)

No detalhe à direita, pode-se identificar a formação de manchas sobre a película de argamassa nas vigas – que já haviam passado por repintura, caracterizadas pela formação de pites em pequenas porções da peça. Ainda, é possível constatar o início de uma corrosão do tipo pilha galvânica, por estar estabelecida nos arredores do contato entre as vigas (aço carbono) de metal mais nobre e as telhas (aço zincado) de metal menos nobre. Na extensão da cobertura galvanizada ainda é notório o acúmulo de um produto esbranquiçado, com aspecto semelhante a ferrugem branca, comum nas peças em zinco.

A Figura 19 captura os mesmos trechos da Figura 18, sendo que já em março de 2019, 5 meses depois, apresentando evolução significativa da manifestação da corrosão por pites nas vigas, alastrando-se por maiores extensões da estrutura. A patologia é considerada habitual no tipo de atmosfera em que a construção está inserida, dada à ação de cloretos, intensa pela distância da costa, que consegue romper até camadas protetoras. A capacidade destrutiva desse tipo de corrosão não preocupa no caso, pois seu principal fator desencadeante, contato com o meio salino, seria findado pelo confinamento das peças no forro de gesso. Acredita-se, portanto, que sua propagação cessará.

Figura 19 - Observação I em março de 2019



Fonte: Autor (2019)

Além dessa, também a corrosão da telha galvanizada demonstrou avanços em grau acentuado. Além do desenvolvimento da “ferrugem branca”, foi detectado produtos de corrosão que indicariam que a espessura da camada protetiva de zinco estaria comprometida pelo avanço da degradação do par galvânico. Em trecho adjacente ao analisado, na Figura 20, é possível detectar com maior clareza a manifestação citada.

Figura 20 - Corrosão em telha galvanizada



Fonte: Autor (2019)

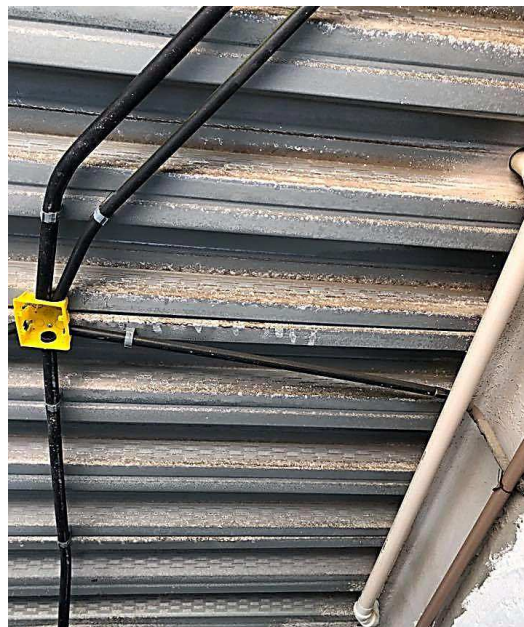
Observação II – Figuras 21 e 22

Localização: vigas e laje de cobertura do 1º pavimento, entre eixos K e J, cota de 6,45m.

Distância da costa: <70m

A Figura 21 é uma fotografia datada de outubro de 2018, enquanto que a Figura 22 foi registrada em março de 2019, 5 meses depois.

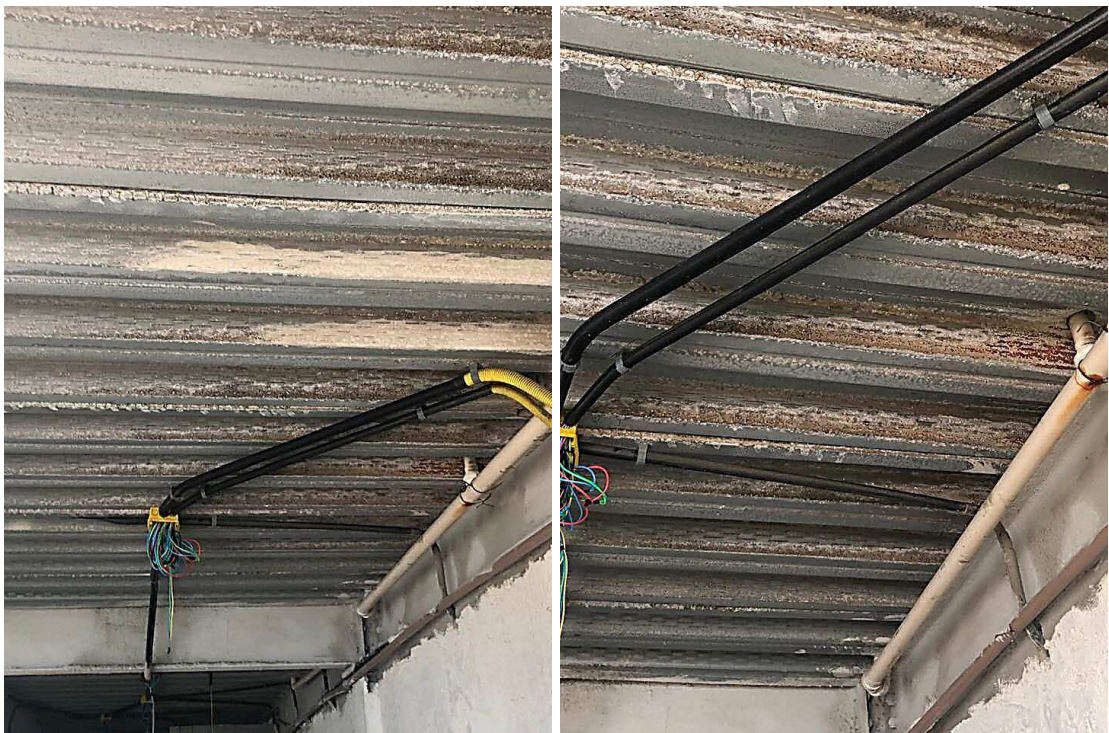
Figura 21 - Observação II em outubro de 2018



Fonte: Autor (2018)

Na Figura 21 se apresenta outro caso de desgaste da proteção de zinco nas telhas galvanizadas, após 2 anos e 3 meses de exposição. Na foto em questão, faz-se necessário chamar atenção para a extensão da patologia, que já não se demonstra restrita as zonas de contato entre metais. É de grande probabilidade que, pela maior altitude em relação ao térreo, exista incidência de ventos mais fortes carregando umidade e acelerando o processo corrosivo. Tanto que, já na Figura 22, apenas 5 meses após a primeira foto, é notória a evolução.

Figura 22 - Observação II em março de 2019



Fonte: Autor (2019)

Ponderando o período que distancia as observações e o ritmo de desenvolvimento da patologia, seria recomendável a intervenção com pintura sobre as telhas galvanizadas ou imediata aplicação do forro. A segunda opção ocorreu, tendo início ainda no mês de março.

Observação III – Figuras 23 e 24

Localização: vigas e laje de cobertura do 2º pavimento, entre eixos K e J, cota de 9,6m.

Distância da costa: <70m

Figura 23 - Observação III em outubro de 2018



Fonte: Autor (2018)

As peças da Figura 23 haviam sido instaladas 1 ano e 6 meses antes da fotografia. Quanto às vigas, é necessário salientar que não passaram por repintura, somente por retoques padrão, além do jateamento de argamassa. Na imagem é possível constatar um tipo de degradação semelhante ao observado na Figura 18, tanto para as telhas quanto para as vigas, com a corrosão galvânica e a corrosão puntiforme, respectivamente. Ademais, também é possível ver um foco corrosivo na junta entre telhas, além de um desgaste extensivo a totalidade da peça. O último, já comentado anteriormente nas Figuras 21 e 22 possui mesma causa, com menor tempo de exposição. Porém, a corrosão presente na junta possui motivação divergente. É provável que tenha sido iniciada após a concretagem, com o escoamento de água nas frestas e aumento da umidade na área. Observação conseguinte na Figura 24 demonstrará que não houve evolução da tipologia.

Figura 24 - Observação III em março de 2019



Fonte: Autor (2019)

A maior diferença detectada 5 meses após o primeiro registro está no que tange ao alastramento da corrosão puntiforme e agravamento da corrosão galvânica. Manchas intensificadas de ferrugem são observadas na peça em segundo plano. As mesmas também são detectadas nas zonas de contato viga-telha, apontando para interação entre os materiais de composição.

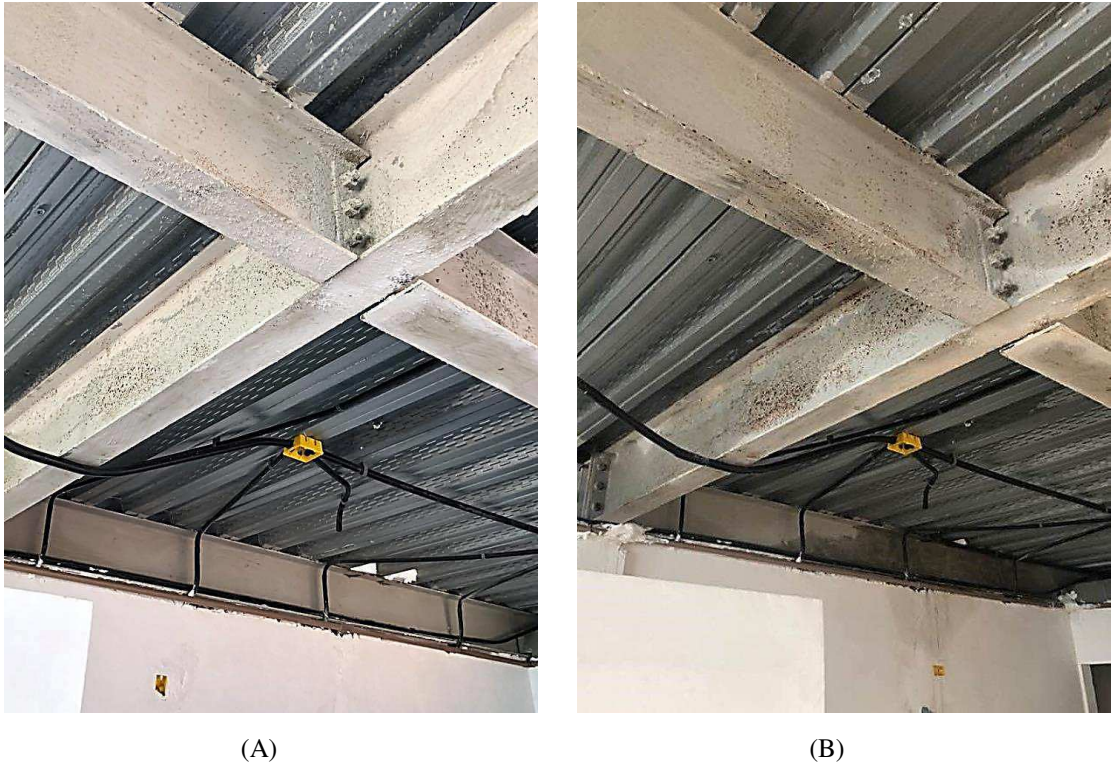
Observação IV – Figuras 25 A e B

Localização: vigas e laje de cobertura do 2º pavimento, entre eixos J e H, cota de 9,6m.

Distância da costa: <80m

A Figura 25 (A) e (B) estão a uma distância maior da costa em relação às outras observações analisadas até então. A barreira formada pela alvenaria é de grande contribuição para amenizar os danos, que se apresentam suaves se comparada às estruturas de varandas das Figuras 21 e 22.

Figura 25 - Observação IV em outubro de 2018 (A) e observação IV em março de 2019 (B)



Fonte: Autor (2018/2019)

A Figura 25 (A) mostra pequenos e discretos focos de corrosão puntiforme (pites). Com 1 ano e 6 meses de exposição, as peças apresentam desempenho razoável ao ambiente que estão expostas. Como foi instalada na segunda etapa de montagem da estrutura, só dispõe da pintura padrão das peças e retoque, além do jateamento de argamassa.

A Figura 25 (B), que analisa o mesmo ambiente 5 meses depois, mostra sutil evolução dos processos corrosivos. Vale ressaltar a inexistência de corrosão galvânica nas telhas desse ambiente.

Observação V – Figuras 26 A e B

Localização: escada, entre eixos D e G, cota entre 3,3m e 6,45m.

Distância da costa: <90m

A Figura 26 (A) apresenta o processo patológico na escada com o tipo de corrosão uniforme, após 2 anos e 3 meses de exposição, provocado pela corrosão atmosférica tipicamente agressiva. Após 5 meses, a degradação tem crescimento exacerbado, como mostra

a Figura 26 (B), evoluindo para o descascamento do revestimento de proteção, que já havia recebido repintura e jateamento de argamassa.

Figura 26 - Observação V em outubro de 2018 (A) e observação V em março de 2019 (B)



(A)



(B)

Fonte: Autor (2018/2019)

A escada, que ainda receberá contra piso, deve passar por um novo processo de manutenção a fim de retardar o avanço da corrosão.

Observação VI – Figuras 27 e 28.

Localização: Vigas, entre eixos H e G, cota de 3,3m.

Distância da costa: <90m

As peças localizadas em um corredor entre os eixos H e G não passaram pelo processo de jateamento da argamassa com o intuito de avaliação do desempenho da pintura. A contribuição da alvenaria é indiscutível como barreira física ao contato do ar atmosférico. Nas peças avaliadas, os principais defeitos concerniam à pintura e não a alguma patologia que indicasse corrosão.

A Figura 27 (A) mostra uma peça que havia passado pelo processo de repintura e apenas apresentava uma porção de escorrimento da tinta, decorrente de aplicação de camada mais espessa que o desejável.

Figura 27 - Observação VI em outubro de 2018 (A) e observação VI em março de 2019 (B)



(A)

(B)

Fonte: Autor (2018)

Não se tratando da mesma peça, mas estando inserida no mesmo ambiente, a Figura 27 (B) mostra na pintura o defeito de empolamento da pintura. Geralmente, esse tipo de patologia está associada a uma preparação de superfície insatisfatória e é um fator desencadeante de focos corrosivos que já começavam a despontar.

Ao longo do acompanhamento, foi notado que estruturas localizadas entre os eixos A e D da estrutura dificilmente apresentavam focos corrosivos, tendo bom desempenho com a pintura escolhida e o tipo de telha para laje steel deck.

6 CONCLUSÃO

Unindo o estudo teórico e os resultados obtidos na prática acerca da influência do ambiente marítimo sobre construções de estrutura metálica, chegou-se a algumas conclusões descritas a seguir.

De fato, a atmosfera marinha possui particularidades que demandam atenção especial devido sua agressividade, sobretudo com o aço e seus revestimentos de proteção. Fatores como o ataque de cloretos presentes na névoa salina originária do mar e as altas taxas de umidade notadamente tiveram grande influência no processo de degradação das estruturas observadas pelo estudo de caso. No cenário ponderado, o sistema construtivo adotado, com perfis metálicos para vigas, pilares e escadas e telhas galvanizadas para lajes steel deck, sofreram diferentes processos corrosivos, estando esses intimamente relacionados ao tipo de invólucro protetivo adotado, tempo de exposição, distância da costa e às barreiras físicas de abrigo da estrutura, como a alvenaria.

As situações mais problemáticas encontradas, localizadas entre os eixos K e J, estão relacionadas a corrosão puntiforme em peças revestidas de primer epóxi, causada pela deposição de cloretos, e a corrosão galvânica em telhas de aço zincado desencadeada pela salinidade/umidade. Em pouco mais de 5 meses de avaliação, tiveram sinais de avanço consideráveis, principalmente as que mantinham maior proximidade do mar, alastrando-se por regiões maiores nos perfis e aprofundando-se na espessura das telhas. Outros tipos como a corrosão uniforme e filiforme apareceram com pouca expressividade, além de não terem exibido desenvolvimento evidente.

É notório que a escolha de proteções adequadas ao ambiente em que a obra está inserida contribuíram para atenuar prejuízos com manutenção devido ao não cumprimento de prazos do confinamento das estruturas, esse ocasionado por intercorrências de cunho financeiro do empreiteiro. Além disso, a escolha pela forma racionalizada de construção, através das estruturas metálicas, fez com que os atrasos fossem recuperados de forma breve. Esses argumentos, em mais um caso, reiteram os benefícios do aço nas edificações.

Por outro lado, faz-se importante ressaltar que os sistemas de proteção utilizados foram medianamente eficazes, visto que apesar do retardo da deterioração das estruturas, apresentaram falhas. É inegável o fato de que mesmo ante revestimentos protetivos que estimavam, ao menos, 7 anos de durabilidade, foram detectados diversos focos de corrosão e desgaste que poderiam vir a comprometer as peças estruturais caso não ocorressem intervenções efetivas. Logo, pode-se afirmar que tanto a pintura epóxi como a galvanização tiveram desempenho abaixo do esperado, ainda que tenham sido aplicadas conforme instrução do fabricante.

As falhas detectadas podem indicar desde lapsos no sistema de fabricação (preparação inadequada da superfície de perfis, imperfeições na pintura, defeitos na galvanização) até uma avaliação inespecífica das diferentes agressividades as quais a obra está submetida, acarretando na utilização de proteções de padrão abaixo da resistência necessária. Desta forma, constata-se que um estudo aprofundado do meio circundante ao empreendimento seria de grande relevância. A determinação de variáveis como umidade crítica e regime dos ventos específicas para a área, que não dispõe de banco de dados, proveriam informações valiosas para uma melhor análise do nível de hostilidade do ambiente.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 8800, **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008.

BRINCK, F. M.. **Efeito da corrosão na integridade estrutural da ponte metálica Marechal Hermes**. Ouro Preto: UFOP, 2004.

CÂNDIDO, L. C.. **Aços** – Notas de aula do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da UFOP. Ouro Preto, 2003.

CASTRO, E. M. C.. **Patologia dos edifícios em estrutura metálica**. Ouro Preto: UFOP, 1999.

Catálogo Gerdau. Gerdau.com.br. Disponível em:

<https://www2.gerdau.com.br/catalogos-e-manuais?gclid=EAIaIQobChMI6P2nibLi4gIVTFcNCh3CIgtzEAAYASABEgL50_D_BwE>.

Acesso em 05 jun. 2019.

Clima: Cabedelo. Climate-data.org. Disponível em:

<<http://web.archive.org/web/20190526141423/https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/paraiba/cabedelo-42737/#climate-graph>>. Acesso em 05 jun. 2019.

Construção em aço – aços estruturais. Instituto Aço Brasil /CBCA, 2014. Disponível em: <<http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/construcao-em-aco-acos-estruturais.php>>. Acesso em 10 dez. 2018.

GENTIL, V.. **Corrosão**. 3. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

GNECCO, C.; MARIANO, R.; FERNADES, F.. **Tratamento de superfície e pintura**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Aço Brasil /CBCA, 2006.

GNECCO, C.; NACIUK, F. F.. **ISO 12944 na pintura de galvanizados, o que mudou na revisão 2017/2018**. In: WORKSHOP DE CORROSÃO PARA O SETOR ELÉTRICO, 16 e 17 de outubro de 2018, Rio de Janeiro.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1993.

ISO 12944-2: **Paints and varnishes – corrosion protection of steel structures by protective paint systems**: Part 2 - classification of environments, Genève, 2018.

ISO 12944-5, **Paints and varnishes – Corrosion protection of steel structures by protective paint systems**: Part 5 – Protective paint systems. Genève: International Organization for Standardization, 2018.

ISO 9226: **Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity**. Genève, 1992. 20

MAINIER, F. B; LIMA, G. B.A.; QUELHAS, O. L.G. **Aspectos da corrosão de tubos galvanizados utilizados na construção civil**. 2002. In: IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Anais, p 16-19, 7-10 maio de 2002, Paraná, Brasil.

MEIRA, G. R.; ANDRADE, C; ALONSO, M. C.. **Chloride threshold for starting corrosion process – relationship between laboratory and field experiments**. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON THE CHEMISTRY OF CEMENT, 13., 2011, Madri. Proceedings... Madri: IETcc / CSIC, 2011.

MEIRA, G. R.. **Corrosão De Armaduras Em Estruturas De Concreto – fundamentos, diagnóstico e prevenção**. 1. ed. João Pessoa: Editora do IFPB, 2017. V. 1. 130p.

MEIRA, G. R.; PADARATZ, I.J.. **Efeito do distanciamento em relação ao mar na agressividade por cloretos**. In: 44° Congresso Brasileiro do Concreto, 2002, Belo Horizonte. Anais do 44° Congresso Brasileiro do Concreto, 2002.

MELO, A. S. T.; RODRIGUEZ, J. L.. **Paraíba: Desenvolvimento econômico e a questão ambiental**. João Pessoa , Grafset, 2003.

MORCILLO, M. et al. **Corrosión y protección de metales en las atmosferas de iberoamerica**. Madrid: Cytel, 1998.

NUNES, L. P.; LOBO, A. C. O.. **Pintura industrial na proteção anticorrosiva**. Rio de Janeiro: Livro técnicos e científicos editora, 1990.

PANNONI, F. D. **Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio**, 2015.

PANNONI, F. D. **Projeto e Durabilidade**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil /CBCA, 2017.

SERRA, A. H. G. F.. **Análise de patologias em estruturas construídas em ambiente marítimo**. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2012.

SILVA, B. A.. **Efeito da corrosão de tubulações de aço galvanizado na pressão de um sistema predial de distribuição de água**. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2017.

SILVA, P. F.. **Introdução à corrosão e proteção das superfícies metálicas**. Belo Horizonte: [s.n.], 1981.

SOUZA, V. S.. **Mapa Climático urbano da cidade de João Pessoa – PB**. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2010.

ANEXO A – PROJETO ESPACIAL DE ESTRUTURA METÁLICA

ANEXO B – PLANO DE BASES COM EIXOS