

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SERGIPE**

CAMPUS ARACAJU

DEPARTAMENTO DE DESENVOLVIMENTO DE ENSINO

COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ANA LARISSA CRUZ PRATA

**MEDIÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE CLORETO NA ATMOSFERA URBANA
DE ARACAJU/SE**

MONOGRAFIA

ARACAJU

2017

ANA LARISSA CRUZ PRATA

**MEDIÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE CLORETO NA ATMOSFERA URBANA
DE ARACAJU/SE**

Monografia apresentada como requisito parcial
à obtenção do título de Bacharel, da
Coordenação do Curso de Engenharia Civil, do
Instituto Federal de Sergipe – Campus Aracaju.
Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique de
Carvalho

ARACAJU

2017

Dedico este trabalho aos meus pais, que nunca mediram esforços para me proporcionar a melhor educação, e sempre me ensinaram que os estudos é o único meio para alcançar meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pela vida e por todas as bênçãos a mim concedidas.

Aos meus pais, que me ajudaram desde o início, na verdade sem eles essa pesquisa não teria ido adiante. Muito obrigada por cada palavra de incentivo durante esse período, que não foi fácil. À minha irmã Victória, pelos momentos de descontração.

Ao meu namorado, Davi, que estava sempre pronto para me ajudar. Obrigada por estar ao meu lado, me apoiando e dando conselhos.

Aos amigos do IFS e agora da vida, Alysson, Manu, Rafa, Luanda e Bel, que sempre estavam dispostos a me ajudar, muito obrigada pelas palavras de incentivo e conselhos durante os momentos de incertezas. Agradeço também a Alexandre que se dispôs a me ajudar através dos seus conhecimentos.

À minha família (avós, tios, primos) que sempre preocupados, perguntavam se precisava de alguma ajuda. Muito obrigada por tudo.

Agradeço aos mestres do IFS, pelo conhecimento adquirido durante esse período. Em especial ao professor Carlos Henrique, obrigada pela orientação, tempo e incentivo durante a pesquisa, sempre serei grata. Ao professor Francisco, da COQUI, agradeço pela ajuda e auxílio desde do início. Aos laboratoristas, Sérgio, Luana e Natália, que me auxiliaram com a Química.

Pelas dúvidas sanadas e alternativas na melhor forma de trabalhar, agradeço à professora Ledjane, pelo tempo que me disponibilizava na UFS.

Muito obrigada, aos que permitiram a instalação do equipamento durante o período da pesquisa:

À UFS, através da professora Ledjane;

À família Lima Alvelos;

À EMBRAPA, através de Fernando Cintra e a Arquiteta Aline;

À família Almeida Cruz;

À família Passos;

Ao Kartódromo, através do Dr. Roberto Melara;

À família Cruz Barbosa;

Ao Professor e orientador, Carlos Henrique e

À família Marques.

Agradeço também ao ITPS, que me ajudou muito durante o período da pesquisa, sempre me auxiliando, muito obrigada por tudo.

Enfim, agradeço a todos que me ajudaram, cada assistência durante o período de estudo é primordial para o sucesso do mesmo.

“Ser persistente pode te abrir muitas portas. Ser agradecido pode mantê-las sempre abertas”.

Autor desconhecido

RESUMO

PRATA, Ana Larissa CRUZ. **Medição da concentração de cloreto na atmosfera urbana de Aracaju/SE**. 148 páginas. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2017.

O ataque de cloreto a estruturas de concreto armado, tem sido foco de muitas pesquisas, pois diante das diretrizes normativas, garantir a durabilidade de uma edificação é primordial, frente a obrigação civil. Com o intuito de subsidiar os projetistas, este trabalho tem o objetivo de determinar e avaliar as concentrações de cloreto, em alguns pontos, da atmosfera urbana de Aracaju/SE. Para quantificar o teor de cloreto utilizou-se a cromatografia iônica e o método de Mohr. A partir dos resultados observou-se a influência da concentração de cloreto a distância em relação ao mar, altitude, parâmetros climáticos e presença de obstáculos verticais. Através desses resultados, foi analisada a perspectiva de vida útil dos pontos de coleta de acordo com os parâmetros (fator a/c e cobertura) da norma vigente, e conclui-se que essa é ineficiente a agressividade que o cloreto impõe as estruturas de concreto armado em zona de atmosfera marinha.

Palavras-chave: Cloreto; Atmosfera marinha; Vida útil; Durabilidade; corrosão de armaduras.

ABSTRACT

PRATA, Ana Larissa CRUZ. **Medição da concentração de cloreto na atmosfera urbana de Aracaju/SE.** 148 páginas. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2017.

The attack of chloride to reinforced concrete structures has been the focus of many researches, because under the normative guidelines, guaranteeing the durability of a building is paramount, against civil obligation. In order to subsidize the designers, this work has the objective of determining and evaluating the chloride concentrations, in some points, of the urban atmosphere of Aracaju / SE. In order to quantify the chloride content, it was used the ion chromatography and the Mohr method, from the results the influence of the chloride concentration at distance with respect to the sea, altitude, climatic parameters and presence of vertical obstacles was observed. Through these results, it was analyzed the perspective of useful life of the collection points according to the parameters (factor a/c and cover) of the current norm, and it is concluded that this is inefficient the aggressiveness that the chloride imposes the structures of reinforced concrete In an area of marine atmosphere.

Keywords: Chloride; Sea atmosphere; Lifespan; Durability; Corrosion of reinforcements.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relação da durabilidade com o desempenho das estruturas de concreto	27
Figura 2 - Monumento exposto a agressividade ambiental em Fortaleza	31
Figura 3 - Condições para ocorrência da corrosão	32
Figura 4 - Diagrama de Pourbaix para o ferro em uma solução aquosa na temperatura ambiente	33
Figura 5 - Representação dos tipos de corrosão.....	35
Figura 6 - Variações na forma transversal dos pites	36
Figura 7 - Corrosão em pilar de concreto por ataque de cloretos	37
Figura 8 - Formas de ocorrência de íons cloreto na estrutura de concreto armado	38
Figura 9 - Representação do mecanismo de transporte por absorção capilar .	39
Figura 10 - Representação do mecanismo de transporte por difusão.....	41
Figura 11 - Representação do mecanismo de transporte por permeabilidade .	42
Figura 12 - Representação do mecanismo de transporte por migração iônica	44
Figura 13 - Representação esquemática do mecanismo de ruptura por absorção	45
Figura 14 - Formação do complexo transitório na corrosão por íons cloretos..	46
Figura 15 - Diagrama de Pourbaix simplificado para o sistema ferro-água com cloretos.....	47
Figura 16 - Zonas de agressividade às estruturas de concreto.....	53
Figura 17 - Formação do aerossol marinho pela quebra das ondas	55
Figura 18 - Formação do spray marinho por rompimento de bolhas.....	55
Figura 19 - Esquema dos fluxos inerentes ao aerossol marinho.....	57
Figura 20 - Esquema da distribuição do tamanho de poros na pasta de cimento endurecida.....	65
Figura 21 - Fatores que interferem na porosidade e no transporte de massa..	66
Figura 22 - Distribuição dimensional dos poros no concreto	67
Figura 23 - Representação esquemática da nova variável, θ	75
Figura 24 - Vela úmida	78
Figura 25 - Equipamento de suporte da vela úmida.....	79
Figura 26 - Suporte da vela úmida	80

Figura 27 - Materiais utilizados na vela úmida	80
Figura 28 - Fixação do frasco coletor no equipamento de sustentação	81
Figura 29 - Mapa do relevo de Aracaju	83
Figura 30 - Mapa em 3D da localização das estações.....	85
Figura 31 - Localização da estação meteorológica Aracaju-A409.....	86
Figura 32 - Estação 01 (UFS).....	87
Figura 33 - Vista da Estação 01 (UFS).....	87
Figura 34 - Estação E9.....	88
Figura 35 - Vista da Estação E9.....	88
Figura 36 - Estação E5.....	89
Figura 37 - Estação E8.....	89
Figura 38 - Piseta	91
Figura 39 - Materiais utilizados na coleta	91
Figura 40 - Isopor	92
Figura 41 - Gelo gel.....	92
Figura 42 - Procedimento de retirada da vela úmida do frasco coletor	93
Figura 43 - Armazenamento dos vasos plásticos.....	94
Figura 44 - A gaze sendo molhada com água destilada com o auxílio de uma piseta.....	95
Figura 45 - A gaze sendo espremida para retirar os íons cloretos	95
Figura 46 - Turbidez da amostra no teste qualitativo	98
Figura 47 - Teste qualitativo em algumas amostras.....	98
Figura 48 - Conjunto de equipamentos do cromatógrafo de íons.....	99
Figura 49 - Esquema da formação do cromatograma	100
Figura 50 - Esquema da formação do cromatograma	100
Figura 51 - Esquema da formação do cromatograma	101
Figura 52 - Esquema da formação do cromatograma	101
Figura 53 - Exemplo de um cromatograma	102
Figura 54 - Medição da condutividade elétrica das amostras no condutímetro	103
Figura 55 - Mapa em 3D da concentração de prédios no bairro Treze de Julho	113
Figura 56 - Vista dos prédios da estação E2.....	113

Figura 57 - Obstáculo vertical que influenciou a concentração da estação E7	114
Figura 58 - Edificações na mesma linha de influência da estação E8.....	122

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Lei de evolução de custos	28
Gráfico 2 - Distribuição de falhas estruturais no Brasil por etapa construtiva (em %)	30
Gráfico 3 - Distribuição relativa da incidência de manifestações patológicas em estruturas de concreto aparente.....	30
Gráfico 4 - Modelo de vida útil proposto por Tutti.....	48
Gráfico 5 - Modelo de vida útil proposto por Helene	49
Gráfico 6 - Composição dos íons da água do mar	51
Gráfico 7 - Efeito da relação água-cimento na penetração de cloretos.....	64
Gráfico 8 - Carga medida em ensaios de penetração de íons cloreto em função do volume de poros com diâmetro maior que 0,12 micrometros.....	68
Gráfico 9 - Diferença de concentração em relação aos meses de estudo - Praia de Iracema/CE	69
Gráfico 10 - Diferença de concentração em relação aos meses de estudo - Praia do Futuro/CE	70
Gráfico 11 - Medida da taxa de deposição média do cloreto, nas distâncias de 10, 100, 200 e 500m em relação ao mar.....	73
Gráfico 12 - Estudo da distância em relação ao mar de diversos países.....	74
Gráfico 13 - Influência da distância em relação ao mar na concentração de cloretos.....	115
Gráfico 14 - Perspectiva de vida útil para pilares e vigas de concreto armado	119
Gráfico 15 - Perspectiva de vida útil para lajes de concreto armado.....	121
Gráfico 16 - Previsão de vida útil para lajes de concreto protendido.....	124
Gráfico 17 - Previsão de vida útil para pilares e vigas de concreto protendido	125

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vida útil de projeto mínima exigida pela NBR 15575	26
Tabela 2 - VUP (em anos) de estruturas na Europa	26
Tabela 3 - Fontes de íons cloreto no concreto	37
Tabela 4 - Agressividade ambiental de acordo com a taxa de deposição de cloretos.....	47
Tabela 5 - Concentrações dos principais íons presentes na água do mar	51
Tabela 6 - Classes de Agressividade Ambiental (CAA)	52
Tabela 7 - Correspondência entre a localização da estrutura e a deterioração	53
Tabela 8 - – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $c = 10 \text{ mm}$	58
Tabela 9 - Recomendações de cobrimento para estruturas de concreto armado - ACI	58
Tabela 10 - Acréscimo de tempo para iniciar a corrosão em função do teor de C3A	60
Tabela 11 - Limites do teor máximo de cloretos (Cl-) no concreto % sobre a massa de cimento	60
Tabela 12 - Coeficiente de difusão a 25°C em pastas de cimento com fator a/c : 0,5	61
Tabela 13 - Volume de poros em pastas de cimentos com diferentes relações a/agl	62
Tabela 14 - Correspondência entre classe de agressividade e fator água/cimento	62
Tabela 15 - Requisitos para o concreto, em condições especiais de exposição	63
Tabela 16 - Classificação do grau de agressividade com base na umidade relativa do ambiente	71
Tabela 17 - Informações sobre os locais de instalação das estações.....	84
Tabela 18 - Condutividade elétrica das amostras durante o período da pesquisa	104
Tabela 19 - Concentração de cloreto da solução do frasco coletor no período de 10/03 a 10/04	106

Tabela 20 - Concentração de cloreto da solução das águas de lavagens no período de 10/03 a 10/04	106
Tabela 21 - Resumo da concentração de cloreto no período de 10/03 a 10/04	107
Tabela 22 - Concentração de cloreto da solução do frasco coletor no período de 10/04 a 10/05	107
Tabela 23 - Concentração de cloreto da solução das águas de lavagens no período de 10/04 a 10/05	107
Tabela 24 - Resumo da concentração de cloreto no período de 10/04 a 10/05	108
Tabela 25 - Concentração de cloreto da solução do frasco coletor no período de 10/05 a 12/06	108
Tabela 26 - Concentração de cloreto da solução das águas de lavagens no período de 10/05 a 12/06	109
Tabela 27 - Resumo da concentração de cloreto no período de 10/05 a 12/06	109
Tabela 28 - Resumo das características climatológicas.....	110
Tabela 29 - Resumo da concentração de íon cloreto no período da pesquisa	111
Tabela 30 - Valores mais agressivos da concentração de cloreto, em mg/L, das estações.....	117

LISTA DE ABREVIATURAS

a/c	Fator água/cimento
CAD	Concreto de Alto Desempenho
CP	Cimento Portland
PVC	Policloreto de vinila
VU	Vida útil
VUP	Vida útil de projeto

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	Instituto de concreto americano (<i>American Concrete Institute</i>)
AL	Alagoas
AS	Padrões australianos (<i>Australian Standards</i>)
ASTM	Sociedade Americana de Testes e Materiais (<i>American Society for Testing and Materials</i>)
EMBRAPA	Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFS	Instituto Federal de Sergipe
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
UFS	Universidade Federal de Sergipe
EUA	Estados Unidos da América
BA	Bahia
BS	Padrões britânicos (<i>British Standards</i>)
CE	Ceará
CEB	Comitê Euro-Internacional do concreto (<i>Comitê Euro-international du Béton</i>)
CEN	Comité Europeu de Normalização (<i>European Committee for Standardization</i>)
DIN	Instituto Alemão de Normalização (<i>Deutsches Institut für Normung</i>)
EHE	Instrução Betão Estrutural (<i>Instrucción del Hormigón Estructural</i>)
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
ITPS	Instituto Tecnológico e de Pesquisas do Estado de Sergipe
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
MA	Maranhão
NMX	Padrões mexicanos (<i>Normatividad mexicana</i>)
PB	Paraíba
PE	Pernambuco
SE	Sergipe
SIA	Normas da Suíça
UK	Reino Unido (<i>United Kingdom</i>)

LISTA DE SÍMBOLOS

∂	Derivada parcial
Erf	Função erro de Gaus
%	Porcentagem
θ	Ângula teta

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	20
1.1	OBJETIVOS.....	21
1.1.1	Objetivos gerais	21
1.1.2	Objetivos específicos	21
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO	22
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	24
2.1	DURABILIDADE DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	24
2.2	CORROSÃO DA ARMADURA	31
2.2.1	Corrosão	31
2.2.2	Tipos de corrosão	34
2.2.3	Ataque de íons cloreto	37
2.2.4	Modelos de vida útil do aço	48
2.3	ORIGEM E CARACTERIZAÇÃO DO ÍON CLORETO	50
2.3.1	Zonas de agressividade as estruturas de concreto	50
2.3.2	Formação, transporte e deposição do aerossol marinho	54
2.4	PROPRIEDADES E COMPONENTES DO CONCRETO QUE INFLUENCIAM A PENETRAÇÃO DE ÍONS CLORETO.....	57
2.4.1	Espessura do cobrimento do concreto	57
2.4.2	Tipo de cimento e adições	59
2.4.3	Fator água/cimento	62
2.4.4	Porosidade	64
2.5	FATORES QUE INFLUENCIAM O ATAQUE DO ÍON CLORETO NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO	68
2.5.1	Vento	68
2.5.2	Precipitação pluviométrica	70
2.5.3	Umidade relativa	70
2.5.4	Temperatura.....	71
2.5.5	Altitude	72
2.5.6	Distância em relação ao mar.....	73
2.5.7	Presença de obstáculos verticais	75
3	METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ÍONS CLORETOS NO AR ATMOSFÉRICO	77
3.1	MÉTODO DE COLETA.....	77
3.3	PROCEDIMENTO DE COLETA	90
3.4	MÉTODO DE ENSAIO.....	96
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	106

4.1	RESULTADOS OBTIDOS	106
4.2	CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA	110
4.3	CONCENTRAÇÃO DE CLORETOS.....	111
4.4	COMPORTAMENTO DA DEPOSIÇÃO DE CLORETOS	112
4.4.1	Altitude	112
4.4.2	Presença de obstáculos	112
4.4.4	Precipitação pluviométrica	115
5	PERSPECTIVA DE VIDA ÚTIL	117
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	127
6.1	CONCLUSÕES.....	127
6.2	SUGESTÕES	127
	REFERÊNCIAS.....	129
	APÊNDICE A – CONCENTRAÇÕES DE CLORETO PELO MÉTODO DE MOHR, EM mg/L	132
	APÊNDICE B – MÉDIA DIÁRIA E SOMA DOS PARÂMETROS CLIMÁTICOS	133
	APÊNDICE C – DESCONTO DA VELA ÚMIDA NAS CONCENTRAÇÕES DE CLORETO EM mg/L.....	136
	APÊNDICE D – CÁLCULOS REFERENTES A PERSPECTIVA DE VIDA ÚTIL DAS ESTRUTURAS	138
	ANEXO A – ELEMENTOS QUÍMICOS UTILIZADOS NO MÉTODO DE MOHR	141
	ANEXO B – RESULTADOS DO ITPS	142

1 INTRODUÇÃO

O concreto armado é o material construtivo mais utilizado no mundo. Diversas são as suas vantagens como seu baixo custo relativo, a facilidade em obtenção de seus componentes, a durabilidade que apresenta, se dosado corretamente, sua adaptabilidade a diversas formas, entre outros. (PELLIZZER, 2015)

Antigamente, o único parâmetro que os projetistas se preocupavam para atingir a durabilidade das estruturas de concreto, era a capacidade resistente. Porém, na virada da década de 1960 para 1970, os projetistas sentiram a necessidade de pesquisar novos critérios para garantir o total sucesso das construções (SOUZA; RIPPER, 1998 *apud* SILVA, 2011). Visto que, segundo Vilasboas (2013), em pesquisas realizadas a nível internacional, tais como a conduzida por Hadley (1948), que analisou várias estruturas marítimas nos Estados Unidos construídas entre 1896 e 1916, mostraram que essas estruturas, com 20 a 30 anos de idade, já apresentavam problemas significativos de deterioração. No Brasil, Dal Molin (1988) observou que, nas estruturas com graves danos na região Sul do país, 40% das manifestações patológicas referiam-se à corrosão de armaduras.

Segundo Pellizzer (2015) a corrosão das armaduras está diretamente associada à durabilidade de estruturas de concreto, e a difusão de cloretos é reconhecida como um dos fatores de maior importância no desencadeamento do processo corrosivo. Como o Brasil possui uma extensa faixa litorânea, e os cloretos em sua maioria, são provenientes de águas marinhas, as estruturas localizadas próximas a região de mar são fortemente atacadas pelo íon cloreto.

Apesar da ABNT NBR 6118:2014 citar as classes de agressividade ambiental para cada estrutura, essas não são suficientes para garantir a vida útil de projeto das estruturas em ambientes agressivos. As normas e códigos estrangeiros, como ACI (EUA), CEN (Europa), AS (Austrália), DIN (Alemanha), NMX (México), LNEC (Portugal), EHE (Espanha), SAI (Suíça) e BS (UK) não são unânimes na inclusão de classes de exposição em equivalente único devido os diferentes critérios utilizados para estabelecê-los. Entretanto, consensam numa

única classe quando o tipo de dano for atribuído à categoria severa. Por isso, pesquisas com o intuito de determinar concentrações de íon cloreto na atmosfera são de extrema importância, para subsidiar os projetistas a executarem projetos estruturais duráveis.

Em vista da importância de classificar a agressividade do meio ambiente à ação de cloretos, no Nordeste, cidades como Fortaleza/CE, São Luís/MA, Recife/PE, Macéio/AL e Salvador/BA, possuem estudos à luz da ABNT NBR 6211:2001, que consiste na instalação de um equipamento chamado “vela úmida”, onde através de medições mensais, determina-se a concentração de cloretos na atmosfera da região.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivos gerais

Principal objetivo deste trabalho é determinar e analisar as concentrações de cloreto na atmosfera do município de Aracaju, a partir dos conceitos de durabilidade e vida útil das estruturas de concreto.

1.1.2 Objetivos específicos

a) Determinar a concentração de cloreto ($\text{mg/m}^2.\text{dia}$), em dez pontos localizados no município de Aracaju, a partir do método da vela úmida, conforme a ABNT NBR 6211:2001.

b) Caracterizar climatologicamente a região durante o período do estudo.

c) Analisar a influência de fatores como precipitação pluviométrica, distância em relação ao mar, altitude e presença de obstáculos na concentração de cloretos.

d) Estimar a vida útil de projeto (VUP) das estruturas, com base no teor de íons cloreto encontrados na atmosfera da região em estudo, com o intuito de compará-las com as normas vigentes.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em seis capítulos. O primeiro capítulo, intitulado de INTRODUÇÃO, apresenta uma visão geral sobre a mudança dos parâmetros que norteiam a durabilidade de estruturas de concreto, a agressividade dos íons cloretos e a importância do estudo da determinação de íons cloretos na atmosfera das regiões.

Em seguida, no segundo capítulo, rotulado como REVISÃO BIBLIOGRÁFICA, há uma exposição sobre a corrosão em estruturas de concreto, desde os tipos a forma de ataque dos cloretos nas armaduras. Também consta nesse capítulo a origem e caracterização desse íon, e os componentes do concreto que influenciam sua penetração nas estruturas. Além disso, a revisão bibliográfica também aborda os fatores climatológicos e existentes no meio que interfere na deposição dos íons cloretos.

O terceiro capítulo, classificado de METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ÍONS CLORETOS NO AR ATMOSFÉRICO, detalha o método e procedimento de coleta para determinação da concentração de cloretos na atmosfera do município de Aracaju. Além disso, demonstra a localização dos dez pontos de coleta instalados na região de estudo, e por fim, detalha o método de ensaio utilizado para definir o teor de íons cloretos em cada ponto de coleta.

Na sequência, o quarto capítulo, qualificado de RESULTADOS E DISCUSSÃO, analisa a caracterização climatológica durante o período de estudo, assim como a concentração de cloretos em cada ponto de coleta e os fatores que influenciaram tal concentração.

No quinto capítulo, chamado de PERSPECTIVA DE VIDA ÚTIL, é apresentado o estudo da vida útil das estruturas da região, a partir das

concentrações de cloretos determinadas no período da presente pesquisa, com o intuito de compará-las com as normas vigentes.

No sexto capítulo, denominado de CONSIDERAÇÕES FINAIS, são apresentadas as conclusões em relação ao comportamento dos resultados coletados nesta pesquisa, e por fim, são apresentadas as sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DURABILIDADE DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, durabilidade consiste na capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e pelo contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto. Segundo essa Norma as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o prazo correspondente à vida útil.

O código FIP-CEB define durabilidade como a capacidade da estrutura em oferecer o desempenho requerido durante um período de vida útil desejado, de acordo com a influência dos fatores de degradação. Já o Comitê 201 do ACI define durabilidade do concreto de cimento Portland como a sua capacidade de resistir a ação de intempéries, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração. (RIBEIRO et al., 2014)

Em suma, Vilasboas (2013) define que o estudo da durabilidade passa pela avaliação tanto da agressão ambiental quanto da “qualidade” do concreto e da estrutura e pela compatibilização que ocorre entre esses dois fatores.

Uma diretriz geral, encontrada na literatura técnica, ressalta que a durabilidade da estrutura de concreto é determinada por quatro fatores identificados como “regra dos 4C” (HELENE, 1993):

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

Levando-se em conta os requisitos referentes à correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto exigidos pela NBR 6118 (ABNT,2007), deve-se acrescentar o fator identificado como “classificação ambiental” a essa lista, que passaria, então, a ser denominada regra dos 5C. (VILASBOAS, 2013)

A partir de definições apresentadas anteriormente, entende-se que a durabilidade de uma estrutura é função de certos parâmetros básicos como características da construção, agressividade ambiental, critérios de desempenho desejados e do tempo, ou seja, da vida útil requerida para uma estrutura em particular. Numa analogia simplista, costuma-se dizer que a vida útil está para a durabilidade, assim como a resistência está para o projeto estrutural. (RIBEIRO et al., 2014)

A ABNT NBR 15575:2013 Edificações Habitacionais – Desempenho, define dois critérios de durabilidade, a vida útil de projeto (VUP) e a vida útil (VU), sendo essa, o período de tempo em que um edifício e/ou seus sistemas se prestam às atividades para as quais foram projetados e construídos, com atendimento dos níveis de desempenho previstos nessa norma, considerando a periodicidade e a correta execução dos processos de manutenção especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção, já aquela é definida como o período de tempo para qual um sistema é projetado, a fim de atender aos requisitos de desempenho estabelecido na ABNT NBR 15575:2013, considerando o atendimento aos requisitos das normas aplicáveis, o estágio do conhecimento no momento do projeto e supondo o atendimento da periodicidade e correta execução dos processos de manutenção especificados no respectivo manual de uso, operação. A norma ainda ressalta que a VUP não pode ser confundida com o tempo de vida útil, durabilidade, e prazo de entrega legal ou contratual.

Em termos matemáticos, a vida útil (VU) será uma composição do valor teórico calculado como vida útil de projeto (VUP) influenciado positivamente ou negativamente pelas ações de manutenção, intempéries e outros fatores internos de controle do usuário e externos (naturais) fora do seu controle. (ABNT NBR 15575:2013)

A ABNT NBR 15575:2013 ainda cita que, a VUP exigida para estruturas é de no mínimo 50 anos, conforme especifica a tabela 1.

Tabela 1 - Vida útil de projeto mínima exigida pela NBR 15575

Sistema	VUP* mínima em anos
Estrutura	≥ 50 Conforme ABNT NBR 8681
Pisos internos	≥ 13
Vedação vertical externa	≥ 40
Vedação vertical interna	≥ 20
Cobertura	≥ 20
Hidrossanitário	≥ 20
* Considerando periodicidade e processos de manutenção segundo a ABNT NBR 5674 e especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção entregue ao usuário elaborado em atendimento à ABNT NBR 14037.	

FONTE: (ABNT NBR 15575:2013)

Assim como no Brasil, segundo a tabela 2, na Europa a VUP é de no mínimo 50 anos, porém a norma europeia especifica com mais detalhes a duração de acordo com as partes das estruturas e sua tipologia.

Tabela 2 - VUP (em anos) de estruturas na Europa

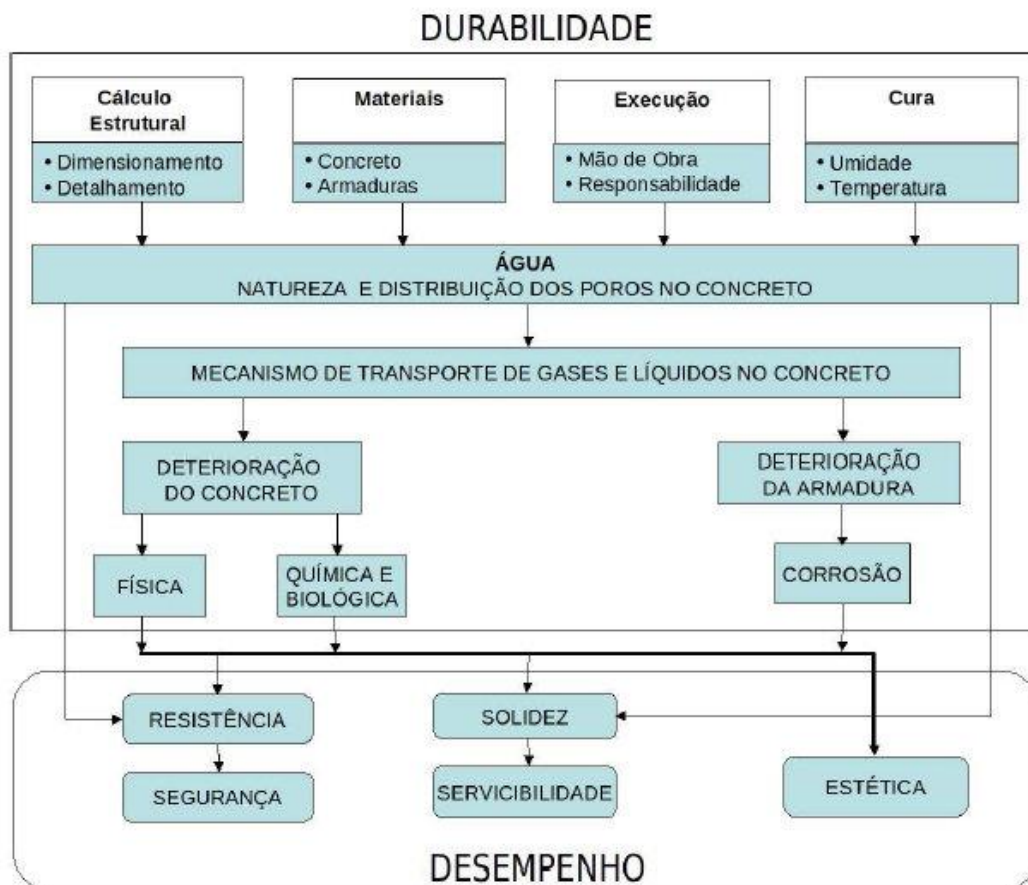
EM 206-1 (2007) Concentro: Especificação, desempenho, produção e conformidade	
Tipo de estrutura	Vida útil
Temporárias	≥ 10 anos
Partes estruturais substituíveis (Ex: apoios)	10 a 25 anos
Estruturas para agricultura e semelhantes	15 a 30 anos
Edifícios e outras estruturas comuns	≥ 50 anos
Edifícios monumentais, pontes e outras estruturas de engenharia civil	≥ 50 anos

FONTE: (PELLIZZER, 2015)

Priorizar padrões de desempenho diante dos padrões prescritivos das normas técnicas é uma tendência internacional. As normas suíças, possivelmente as mais avançadas no mundo em termos de requisitos de desempenho, especificam, por exemplo, valores máximos de absorção de água e difusão de cloretos (dependendo da classe de exposição), tanto no laboratório quanto no campo, onde medições de permeabilidade são constantes.

O CEB (1992), a partir da figura 1, relaciona os conceitos de durabilidade com o desempenho mecânico e funcional das estruturas de concreto.

Figura 1 - Relação da durabilidade com o desempenho das estruturas de concreto



FONTE: (VILASBOAS, 2015)

De acordo com a figura 1 os principais processos de deterioração do concreto que influenciam na sua durabilidade são:

Processos físicos:

- Desgaste superficial (abrasão, erosão, cavitação);
- Cristalização de sais nos poros;
- Ação de congelamento;
- Ação de fogo;
- Fissuração por deformação.

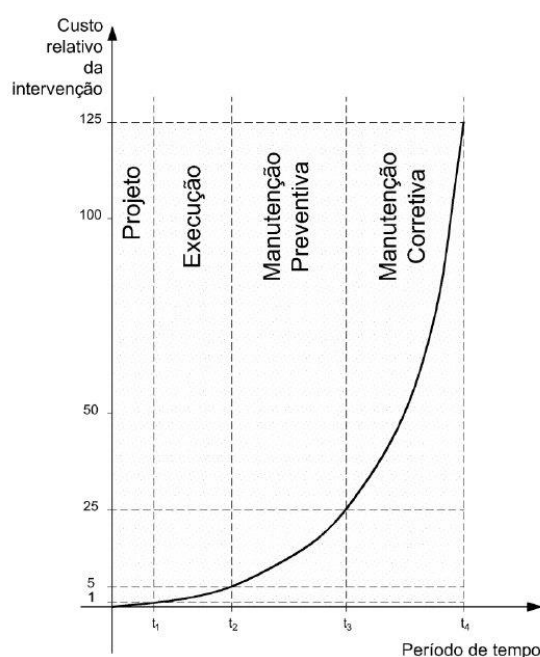
Processos químicos ou físico-químicos:

- Lixiviação;
- Expansão (ação de sulfatos e cloretos, reação álcali-agregado, corrosão de armaduras).

Para uma estrutura que necessita de elevada vida útil, uma redução na durabilidade está associada a um aumento de custos com reparos, renovação e manutenção das construções. Esses custos elevados podem ser atenuados se a preocupação com o aumento da vida útil ocorrer na etapa de projeto. Assim, aumentar a vida útil pode ser uma boa solução para a preservação de recursos naturais, redução de impactos e economia de energia a longo prazo. (RIBEIRO *et al.*, 2014)

Os elevados custos mencionados anteriormente, podem ser explicados através da lei de Sitter (gráfico 1).

Gráfico 1 - Lei de evolução de custos



FONTE: (PELLIZZER, 2015)

Segundo Vilasboas (2013), o significado dessa “lei” pode ser compreendido a partir da descrição das formas das intervenções e do seu custo dependendo da fase em que ela ocorre:

- Fase de projeto: toda medida tomada na fase de projeto com o objetivo de aumentar a proteção e a durabilidade da estrutura como, por exemplo,

aumentar o cobrimento da armadura, reduzir a relação água/cimento do concreto ou aumentar a fck, especificar adição de sílica ativa, tratamentos protetores de superfície, dentre outras tantas medidas possíveis nesta fase. Tais ações implicam um custo que pode ser associado ao número 1 (um);

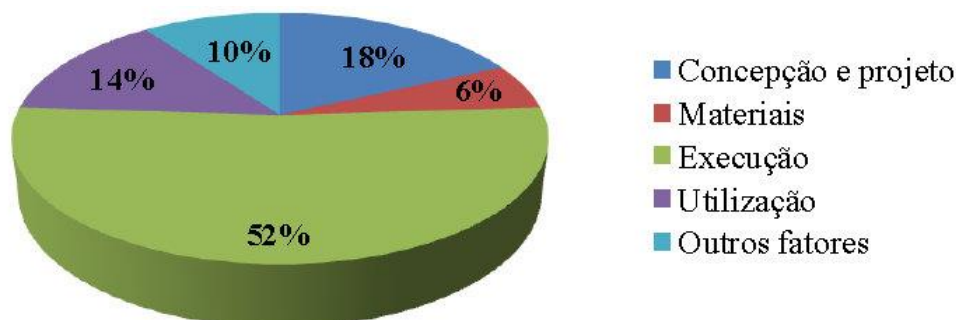
- Fase de execução: toda medida extra projeto adotada durante a fase de execução propriamente dita. Tomar uma medida nesta fase implica 5 (cinco) vezes o custo de adotar uma medida equivalente na fase de projeto para se obter o mesmo nível final de durabilidade ou vida útil da estrutura. Um exemplo típico é a decisão em obra de reduzir a relação água/cimento para aumentar a durabilidade. A mesma medida adotada na fase de projeto permitiria o redimensionamento automático da estrutura, considerando um novo concreto com resistência à compressão mais elevada, de maior módulo de deformação e de menor fluência. Essas ações permitiriam reduzir as dimensões dos componentes estruturais, reduzir as formas, o volume e o próprio peso de concreto e as taxas de armadura. Essas medidas tomadas na execução, apesar de eficazes e oportunas do ponto de vista da vida útil, não podem mais proporcionar economia e otimização da estrutura;

- Fase de manutenção preventiva: são as operações isoladas de manutenção como as pinturas frequentes, limpezas de fachadas sem beirais e sem proteções, impermeabilizações de coberturas e reservatórios mal projetados ou mal executados e outras necessárias para assegurar as boas condições da estrutura durante o período de sua vida útil. Podem custar 25 vezes o valor das medidas corretas adotadas na fase de projeto estrutural ou arquitetônico. Por outro lado, podem representar apenas 1/5 do valor a ser gasto com uma manutenção corretiva, caso se aguarde a estrutura apresentar problemas patológicos evidentes que requeiram esta forma de intervenção;

- Fase de manutenção corretiva: corresponde aos trabalhos de diagnóstico, reparo, reforço e proteção das estruturas que já perderam sua vida útil de projeto e apresentam manifestações patológicas evidentes. A estas atividades pode-se associar um custo 125 vezes do que teria o custo das medidas que deveriam ter sido adotadas na fase de projeto para produzir o mesmo nível de durabilidade que possa ser estimado para a obra após uma intervenção corretiva.

No Brasil, de acordo com o gráfico 2, cerca de 52% das falhas estruturais ocorrem na fase de execução, segundo a lei de Sitter, essa falha gera um custo 5 vezes do que teria o custo caso as medidas de prevenção tivesse sido adotadas na fase de projeto, que segundo o gráfico 1, apresenta apenas 18% das falhas.

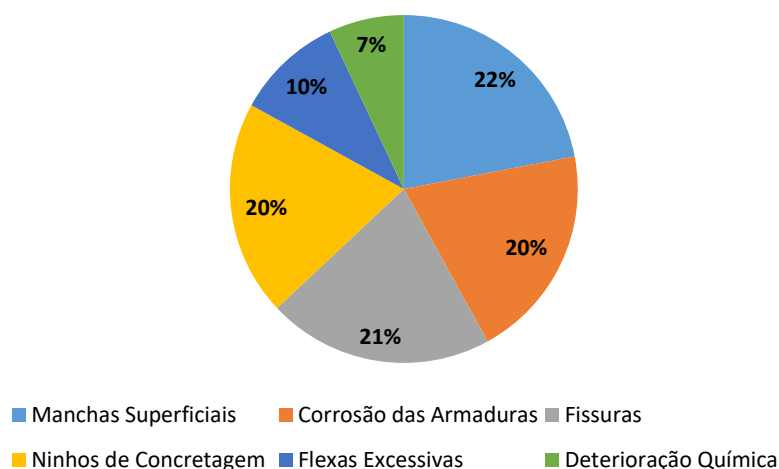
Gráfico 2 - Distribuição de falhas estruturais no Brasil por etapa construtiva (em %)



FONTE: (ALBUQUERQUE, 2016)

A etapa que mais onera custos na construção civil, é a intervenção por meio de manutenção corretivas, para corrigir, por exemplo, problemas relacionados a patologia da estrutura. Segundo Petronilho e Sígolo (2011), e de acordo com o gráfico 3, um grande percentual dos casos de degradação de estruturas em concreto aparente, é atribuída à corrosão das armaduras por perda da passivação resultante da carbonatação ou penetração de cloretos no concreto de recobrimento.

Gráfico 3 - Distribuição relativa da incidência de manifestações patológicas em estruturas de concreto aparente



FONTE: (HELENE, 1992 *apud* Rüdiger, 2011)

Segundo Itambe (2012) as obras públicas, principalmente pontes e viadutos, que são expostas ao íon cloreto, gastam por ano em recuperação estrutural R\$ 800 milhões.

Não somente em estruturas de concreto armado a durabilidade tem que ser atendida, em estruturas e componentes de aço, avaliar a proteção e conhecer a agressividade ambiental a qual o material será exposto, é de extrema importância. Um exemplo que gerou custos e perda total do material em aço, ocorreu com um monumento instalado em Fortaleza/CE. Apesar do material ser de aço patinável, possuindo propriedades anticorrosivas, após 4 meses de exposição ao ambiente agressivo, a escultura apresentou sinais de corrosão, passados 5 anos, o monumento encontrava-se totalmente corroído, restando apenas sua base de sustentação, conforme a figura 2.

Figura 2 - Monumento exposto a agressividade ambiental em Fortaleza



FONTE: (PANNONI, 2016)

2.2 CORROSÃO DA ARMADURA

2.2.1 Corrosão

No seu sentido mais amplo, a corrosão pode ser definida como a interação destrutiva de um material com o meio ambiente, seja por ação física, química, eletroquímica ou a combinação destas. (HELENE,1993)

Segundo Bohni (2005 *apud* TORRES, 2011) para que ocorra o processo corrosivo é necessário que (figura 3):

- Haja uma diferença de potencial entre dois pontos da armadura, possibilitando o fluxo de elétrons;
- O concreto esteja úmido garantindo a existência de um eletrólito;
- O oxigênio esteja presente, possibilitando a reação catódica;
- Ocorra o rompimento da camada passivadora da armadura, podendo ser pela ação de íons cloretos ou pela carbonatação do concreto.

Figura 3 - Condições para ocorrência da corrosão



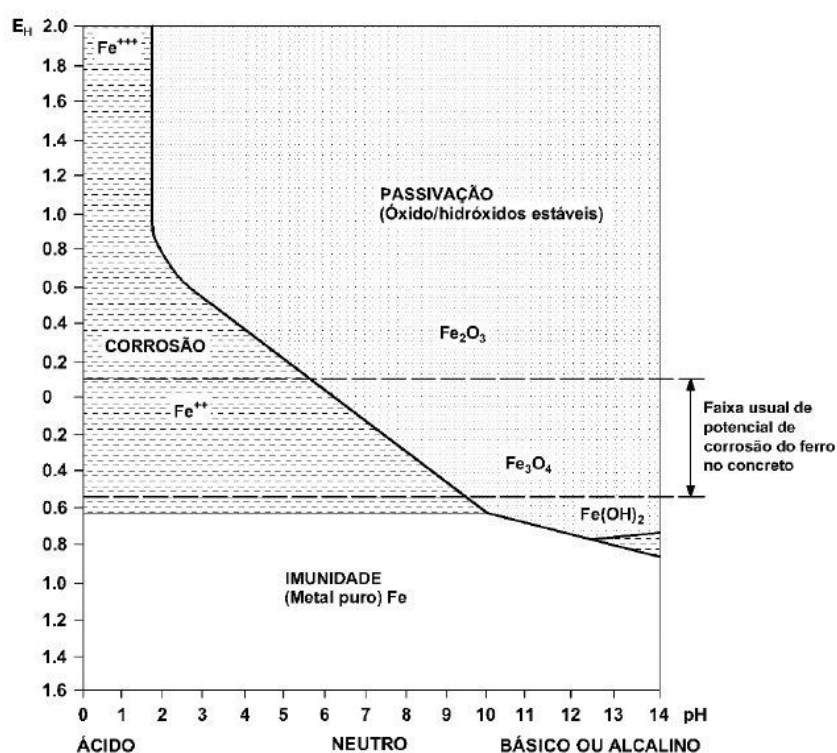
FONTE: (BOHNI, 2005 *apud* TORRES, 2011)

Em vista disso, Ribeiro *et al.* (2014) define que a corrosão, é causada pela ação de um agente oxidante a exemplo do oxigênio e hidrogênio que, ao entrar em contato com a superfície do metal, passa a receber elétrons, ocorrendo assim a reação de redução. Os elétrons consumidos na reação de redução, que ocorre no cátodo, são fornecidos pela reação de oxidação do metal que ocorre no ânodo, sendo transferidos para o cátodo através do metal, que atua como eletrodo -(material no qual ocorre a transferência de elétrons)-. Quando o metal sofre oxidação, perde elétrons e se transforma em um cátion, que se desprende da estrutura metálica passando assim, a ocorrer a dissolução do metal, e consequentemente a corrosão.

Após a deterioração da camada de cobrimento composta por concreto, que tem como função proteger o aço da ação da corrosão, a mesma alcança a

película passivadora que envolve o aço. Na figura 4, é apresentado o diagrama de Pourbaix para o ferro em uma solução aquosa na temperatura ambiente. Através desse diagrama é possível identificar os produtos de corrosão que estarão presentes no aço, em função do potencial e do pH da solução aquosa na temperatura ambiente, e as condições para a formação da película passivadora.

Figura 4 - Diagrama de Pourbaix para o ferro em uma solução aquosa na temperatura ambiente



FONTE: (PELLIZZER, 2015)

De acordo com o diagrama de Pourbaix o ferro em contato com o concreto armado pode se situar em três condições distintas: passivação, imunidade e corrosão.

A zona de passivação corresponde àquela em que as reações observadas são as de formação da película passivadora, a qual será mais ou menos perfeita em função do nível de proteção que esta camada ofereça ao metal. (POURBAIX, 1987 *apud* MEIRA; FIGUEIREDO, 2013)

Quando a armadura de aço está em contato com o concreto na estrutura de concreto armado, ela normalmente estará exposta a um pH em torno de 12.

Como pode ser observado através do diagrama de Pourbaix, para a faixa de potencial na qual o aço geralmente se encontra em torno do potencial de -550mV vs. H e em pH igual a 12, estará presente na superfície da armadura um filme de Fe_3O_4 . Esse composto é compacto e aderente e atua como uma barreira entre o meio corrosivo e a superfície do aço, diminuindo significativamente a taxa de dissolução da armadura, tornando-a protegida contra a corrosão na ausência de íons cloreto. (RIBEIRO *et al.*, 2014)

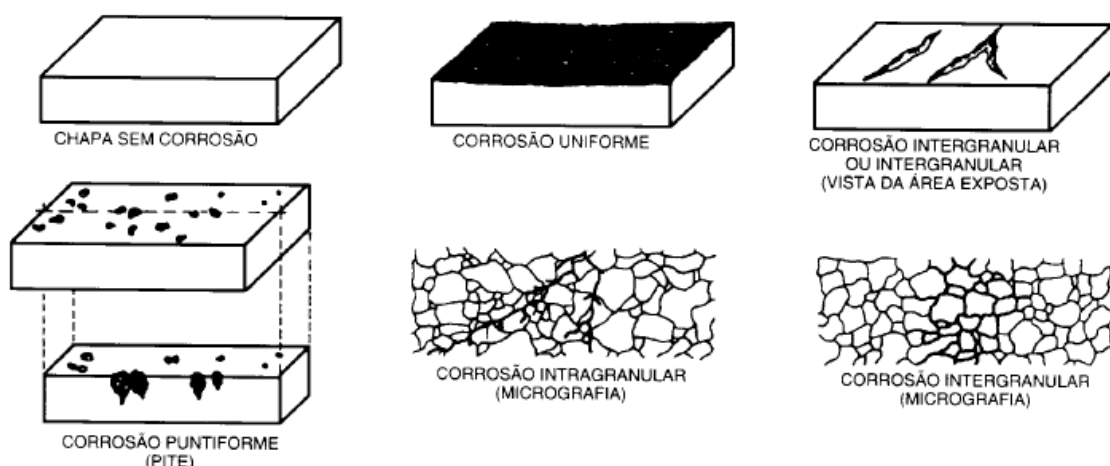
A zona de imunidade corresponde a região de potencial de eletrodo menor do que -0.600 V em relação ao eletrodo padrão de hidrogênio. Nestas condições, o aço não reage com o meio qualquer que seja a natureza deste, ácida, neutra ou alcalina (HELENE, 1993). Nessa zona, a corrosão não é exatamente nula, mas ela ocorre a uma taxa tão baixa que o metal possui a aparência de manter-se inalterado. (ANDRADE, 1988 *apud* MEIRA; FIGUEIREDO, 2013)

A zona de corrosão corresponde àquela onde há as condições termodinâmicas necessárias para que o metal possa desenvolver a corrosão. (MEIRA; FIGUEIREDO, 2013). Com a diminuição do pH nessa zona, o filme passivo de Fe_3O_4 deixa de ser estável passando a ser formado o $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, o que é um filme não protetor. Esse óxido, conhecido vulgarmente como ferrugem, é um filme não compacto e de baixa aderência, e é normalmente formado na armadura de aço em condições nas quais o filme passivo Fe_3O_4 deixa de ocorrer. (RIBEIRO *et al.*, 2014)

2.2.2 Tipos de corrosão

A corrosão pode ser classificada de acordo com várias características, dentre elas, segundo sua morfologia, causas ou mecanismos, fatores mecânicos, meio corrosivo e a localização do ataque. Para o estudo de corrosão em concreto armado, a classificação da corrosão de acordo com a localização do ataque é a mais adequada para entender o processo da corrosão no aço. Segundo Gentil (1996) a classificação da corrosão de acordo com a localização do ataque, se subdivide, conforme a figura 5, em uniforme, por pite, intergranular, transgranular, etc, sendo a primeira e a segunda com maiores índices de manifestações patológicas em concreto armado.

Figura 5 - Representação dos tipos de corrosão



FONTE: (GENTIL, 1996 adaptado pelo AUTOR, 2017)

As corrosões do tipo intragranular e intergranular se processam nos grãos da rede cristalina do material metálico, o qual perde suas propriedades mecânicas, a primeira poderá fraturar à menor solicitação mecânica, e a segunda pode fraturar quando solicitado por esforços mecânicos. (GENTIL, 1996)

Segundo Pires (2007) a corrosão uniforme também conhecida como generalizada, é caracterizada pela corrosão do metal em toda a sua superfície exposta, o que resulta na diminuição gradual do diâmetro da barra e fissuração do concreto de cobertura devido à produção de ferrugem. Já a corrosão pontual, é uma corrosão localizada em pequenos pontos ao longo da superfície do metal e que vai penetrando cada vez mais até a perfuração completa. Causada principalmente por cloretos, a corrosão por pites, como também é chamada, provoca furos na armadura, uma vez que a película passiva desaparece em alguns pontos.

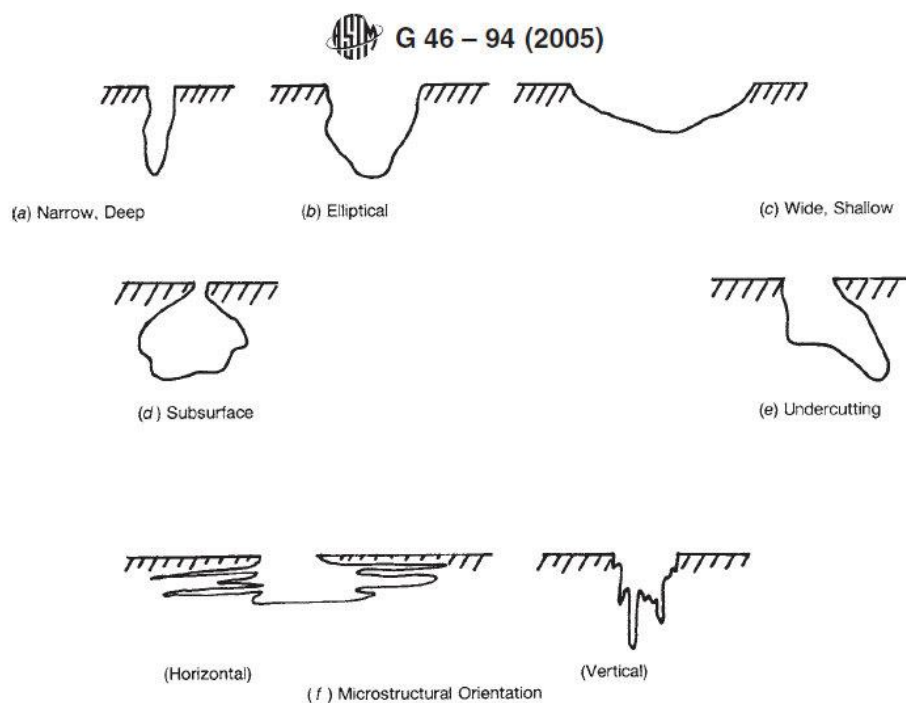
A corrosão por pites segundo a ASTM G46-94:2005 pode se manifestar em diferentes formas, através da figura 6 ela pode ser do tipo:

- a) profundidade estreita;
- b) elíptica;
- c) larga, rasa;
- d) subsuperfície;

e) subcotação;

f) orientação microestrutural do tipo horizontal ou vertical.

Figura 6 - Variações na forma transversal dos pites



FONTE: (ASTM G46-94:2005)

A propagação da corrosão do tipo por pites (figura 7), leva ao lascamento do concreto, fazendo com que a estrutura perca a condição de serviço para a qual foi projetada. A força de expansão do aço é tão forte que deteriora completamente a peça. (ALVES, 2007)

Figura 7 - Corrosão em pilar de concreto por ataque de cloretos



FONTE: (HELENE, 1988 *apud* ALVES, 2007)

2.2.3 Ataque de íons cloreto

Segundo Helene (1986) a corrosão da armadura devido à ação de cloretos é apontada por muitos como uma das mais sérias patologias sofridas pelo concreto armado. (POLITO, 2006)

A origem do íon cloreto no concreto ocorre através de fontes externas ou incorporados à massa do concreto, conforme a tabela 3.

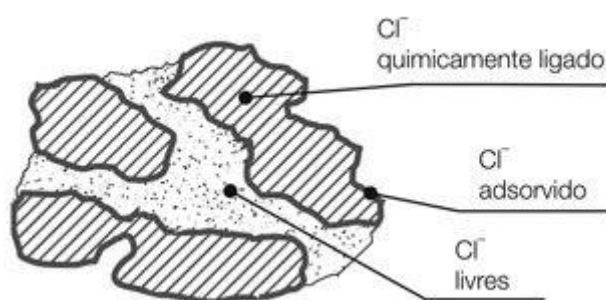
Tabela 3 - Fontes de íons cloreto no concreto

Fontes externas	Incorporados à massa do concreto
Maresia ou névoa de ambiente marinho	Aditivos aceleradores de pega e endurecimento
Água do mar (zonas de respingo e variação de maré)	
Sais de degelo	Água de amassamento contaminada
Processos industriais	
Solos contaminados	Agregados contaminados
Lavagens com ácido muriático	

Fonte: (Cascudo 1997, *apud* PELLIZZER, 2015)

O cloreto se apresenta de três formas no concreto: quimicamente ligado ao aluminato tricálcico (C3A), formando cloro-aluminato de cálcio ou sal de Friedel ($C_3A \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$); adsorvido na superfície dos poros; e sob a forma de íons livres (figura 8). Por maior que seja a capacidade de um dado concreto de ligar-se quimicamente ou adsorver fisicamente íons cloreto, haverá sempre um estado de equilíbrio entre as três formas de ocorrência desses íons, de forma que sempre existirá um certo teor de Cl^- livre na fase líquida do concreto. (RIBEIRO *et al.*, 2014)

Figura 8 - Formas de ocorrência de íons cloreto na estrutura de concreto armado



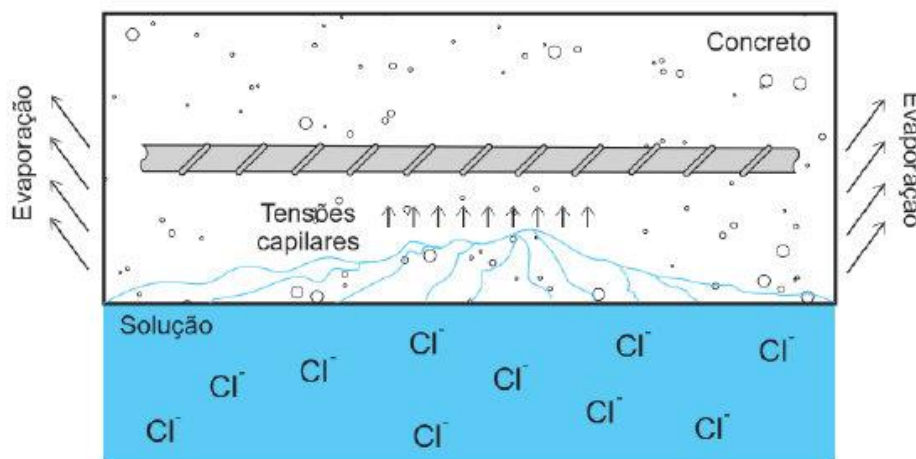
FONTE: (Ribeiro *et al.*, 2014)

Segundo Helene (1993) os cloretos potencialmente agressivos encontram-se na natureza na forma dissolvida em água. Como cristal sólido não representa risco elevado para as estruturas, pois não penetra na porosidade do concreto que tem dimensões muito mais reduzidas que a dos cristais usuais. Como sólido, no entanto, pode depositar-se por impactação na superfície do concreto e aí permanecer até que uma chuva o dissolva e o transporte para o interior da estrutura através de mecanismos como absorção capilar, difusão, permeabilidade ou migração de íons por ação de um campo elétrico.

O mecanismo de transporte por absorção capilar baseia-se na penetração de um líquido, contendo íons cloretos, através de um fluxo provocado pela tensão superficial nos poros capilares do concreto. A tensão superficial provoca o surgimento de forças capilares que, por sua vez, gera a ascensão do líquido através dos poros (figura 9). (FERREIRA, 2015) De acordo com Helene (1986 *apud* PELLIZZER, 2015), reduções na relação água/cimento parecem contribuir para reduzir a absorção, porém, a medida que tornam o concreto mais denso e compacto, diminuem o diâmetro dos capilares e, desde que estes sejam

intercomunicáveis, podem aumentar a absorção capilar. No outro extremo, concretos porosos absorvem pouca água por capilaridade, mas acarretam outros problemas insuperáveis de permeabilidade e carbonatação acentuada.

Figura 9 - Representação do mecanismo de transporte por absorção capilar



FONTE: (FERREIRA, 2015)

O mecanismo de transporte de íons cloretos por absorção capilar é mais importante em caso de estruturas expostas a zonas de flutuação das marés e/ou em zonas de respingo; onde acontecem molhagens e secagens dos elementos estruturais. Nesses tipos de ambientes, durante a molhagem, os íons cloreto dissolvidos na água tendem a penetrar nos poros do concreto, prevalecendo a absorção capilar. Uma vez que os poros atinjam a condição de saturação, o mecanismo de absorção capilar cessa e o transporte dos agentes agressivos passa a ser regido pela difusão. O efeito puramente da absorção capilar no transporte de íons cloretos até a armadura, objetivando conseguir a despassivação, só acontece em concretos de baixa qualidade e/ou em pequenos cobrimentos. (FERREIRA, 2015)

Segundo Pellizzer (2015) com exceção da absorção capilar que ocorre na camada superficial, o movimento dos cloretos no interior do concreto, onde o teor de umidade é mais elevado, dá-se essencialmente por difusão em meio aquoso. A difusibilidade iônica acontece através gradientes de concentração iônica, seja entre o meio externo e o interior do concreto, seja dentro do próprio concreto. Estas diferenças nas concentrações de cloretos suscitam o movimento desses íons em busca do equilíbrio.

De uma maneira geral, o transporte por difusão de líquidos e gases no concreto depende, principalmente, da concentração destas substâncias na superfície do concreto, do tempo de exposição, da variação da temperatura, do grau de saturação dos poros, da microestrutura do concreto, dos produtos da hidratação e das interações entre essas substâncias e os constituintes do concreto. (HELENE, 1993 *apud* FERREIRA, 2015)

Ribeiro et al., (2014) conclui que o mecanismo de penetração por difusão iônica (figura 10), possui considerável influência no período de iniciação da corrosão. Assim, são definidos dois estágios do fluxo por difusão, o estágio estacionário, caracterizado pelo fluxo constante das substâncias em difusão, e o estágio não estacionário no qual o fluxo é dependente do tempo e da profundidade de penetração. Esses dois estágios podem ser representados pela primeira e segunda leis de Fick, respectivamente.

A primeira lei de Fick é expressa pela equação:

$$q_m = - D \cdot \frac{\partial C}{\partial x} \quad (\text{Eq. 01})$$

Já a segunda lei de Fick é expressa pela equação:

$$\frac{\partial C}{\partial x} = - \frac{\partial C}{\partial x} \quad (\text{Eq. 02})$$

Que tem como uma de suas soluções:

$$C(x,t) = C_s \left(1 - \text{erf} \cdot \frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) \quad (\text{Eq. 03})$$

Onde,

q_m = representa o fluxo de massa;

x = profundidade onde se mede a quantidade de massa que penetrou;

C = concentração;

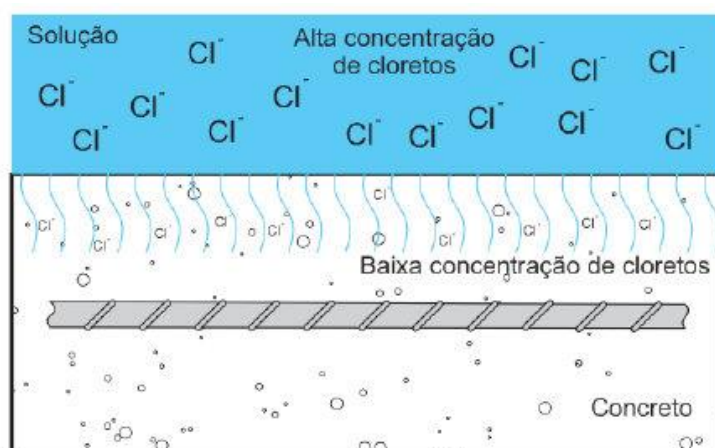
D = coeficiente de difusão;

$C(x,t)$ = é a concentração da substância a uma distância x , em um tempo t ;

C_s = concentração superficial da substância e difusão.

No caso da penetração de íons cloretos, o estado não estacionário da difusão representa o período em que o transporte de íons através do concreto ocorre de forma combinada com a sua fixação às fases do cimento, enquanto o estágio estacionário refere-se ao período em que a fixação não ocorre mais e o fluxo dos íons cloreto se dá em uma taxa constante. (RIBEIRO, *et al.*, 2014)

Figura 10 - Representação do mecanismo de transporte por difusão



FONTE: (FERREIRA, 2015)

O mecanismo de transporte por permeabilidade (figura 11), consiste no fluxo de um fluido, pela rede porosa de um material, influenciada por um gradiente de pressão. (CASCUDO, 1997 *apud* FERREIRA, 2015) Polito (2006) cita que a permeabilidade é um dos principais indicadores da qualidade de um concreto e está relacionada com o fator água/cimento, quanto menor for este fator, menos permeável será o concreto.

Segundo Ribeiro *et al.*, (2014) espera-se que o ingresso de cloretos por permeabilidade ocorra de forma indireta, por meio da penetração da água na qual estão dissolvidos.

A permeabilidade em regime laminar, estacionário e não turbulento, pode ser modelada pela lei de Darcy: (HELENE, 1993)

$$V = k \cdot \frac{H}{x} = \frac{Q}{S} \quad (\text{Eq. 04})$$

Sendo que,

$$x = \sqrt{2 \cdot k \cdot H \cdot t} \quad (\text{Eq. 05})$$

Onde:

V = velocidade de percolação da água em m/s;

k = coeficiente de permeabilidade da água no concreto em m/s;

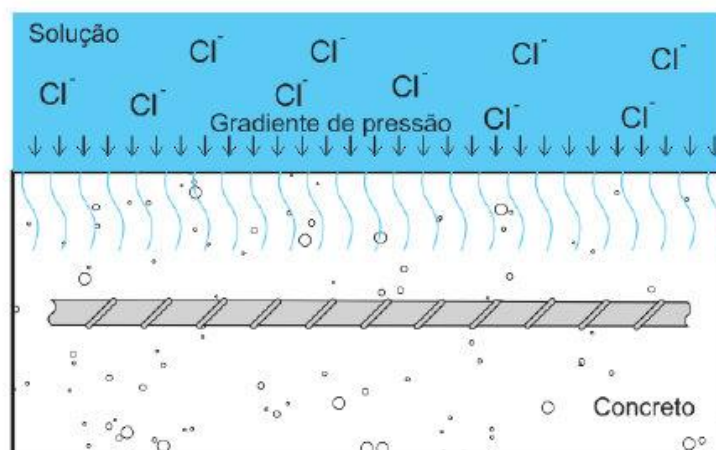
H = pressão de água em m.c.a;

x = espessura de concreto percolado pela água em m;

Q = vazão de água percolada em m³/s;

T = período de tempo considerado em s.

Figura 11 - Representação do mecanismo de transporte por permeabilidade



FONTE: (FERREIRA, 2015)

Cascudo (1998 *apud* SILVA, 2011) define migração iônica (figura 12) como sendo a movimentação dos íons cloretos para o interior do concreto através da corrente elétrica do processo eletroquímico, uma vez que os íons possuem carga elétrica negativa. Segundo Ribeiro *et al.* (2014) esse fenômeno pode ocorrer em estruturas suporte de veículos que utilizam corrente elétrica para a sua movimentação (dormente de metrô), em estruturas de concreto com proteção catódica por corrente impressa ou em estruturas submetidas à extração de cloretos e à realcalinização de uma diferença de potencial.

A lei física que governa esse mecanismo de transporte foi proposta por Andrade (1993), a partir da utilização da equação de movimentação íons em um

eletrólito proposta por Nernst-Plank, adicionada os efeitos da difusão pura e da convecção (equação 6 e 7). (FERREIRA, 2015)

$$\text{Fluxo} = \text{difusão pura} + \text{convecção} + \text{eletromigração} \quad (\text{Eq. 06})$$

$$-j(x) = D_j \frac{\partial C(x)}{\partial x} + C_j V(x) + \frac{zF}{RT} D_j C_j \frac{\partial E(x)}{\partial x} \quad (\text{Eq. 07})$$

Onde:

$j(x)$ é o fluxo de massa da espécie iônica, em kg/m²s;

D_j é o coeficiente de migração, em m²/s;

R é o coeficiente universal dos gases, 8.3144 J/mol.K;

T é a temperatura do ambiente, em graus Kelvin;

z é a valência do íon, para cloretos é -1;

F é a constante de Faraday, 96485,33 J/V.mol;

∂E é a variação do campo elétrico, em V;

∂x é a variação da distância, em m, e $V(x)$ é a velocidade de convecção, em m/s.

Partindo do pressuposto de que não há convecção no interior do concreto, ou seja, não existem gradientes de pressão ou umidade, e que o efeito de difusão pura é desprezível em relação ao efeito de migração, devido a diferença de potencial ser suficientemente alta (10 a 15 V) (ANDRADE, 1993 *apud* FERREIRA, 2015), a equação 8 pode ser expressa assim:

$$j(x) = -\frac{zF}{RT} D_j C_j \frac{\partial E(x)}{\partial x} \quad (\text{Eq. 08})$$

Onde:

$j(x)$ é o fluxo de massa da espécie iônica, em kg/m²s;

D_j é o coeficiente de migração, em m²/s;

C_j é a concentração dos íons a serem transportado, em %;

R é o coeficiente universal dos gases, 8.3144 J/mol.K;

T é a temperatura do ambiente, em graus Kelvin;

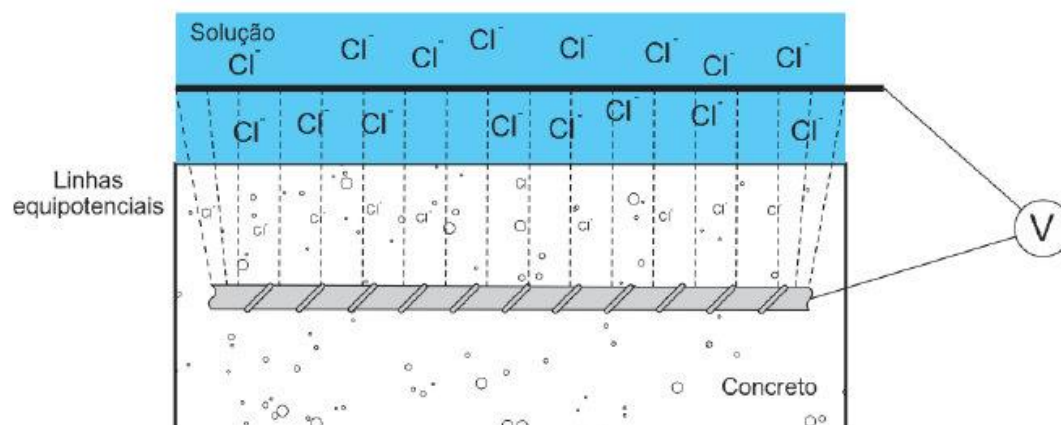
z é a valência do íon, para cloretos é -1;

F é a constante de Faraday, 96485,33 J/V.mol;

∂E é a variação do campo elétrico, em V;

∂x é a variação da distância, em m.

Figura 12 - Representação do mecanismo de transporte por migração iônica



FONTE: (FERREIRA, 2015)

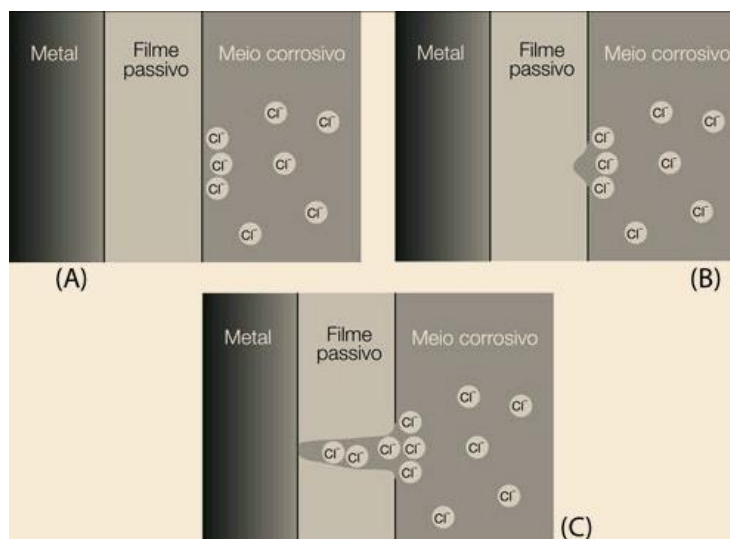
Pesquisas indicam que a quantidade de íons cloreto necessária para despassar uma armadura está relacionada com a concentração de íons hidróxido presentes nos poros. Quando a concentração de íons cloreto excede em 0,6 a concentração de íons hidróxidos, o filme de passivação “dissolve-se”. O valor crítico de 0,6 para o quociente entre as concentrações de íons cloreto e hidróxido corresponde a uma percentagem de 0,2% em massa de cloretos relativamente à massa de cimento, ou de 0,05% relativa à massa do concreto. (RIBEIRO *et al*, 2014)

De acordo com a ACI 222 (1997, *apud* Vitali, 2013), existem três teorias para explicar como o cloreto despassa o aço.

a) Teoria do filme óxido: expõe que os íons cloro penetram através dos poros ou falhas do filme óxido passivante da armadura, mais facilmente que outros íons. E ainda, os íons cloro podem dispersar coloidalmente o filme passivo, facilitando sua penetração e propagação da corrosão.

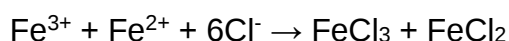
b) Teoria da absorção: o cloreto, adsorvido na superfície do metal e em competição com o oxigênio dissolvido e as hidroxilas, promove a hidratação dos íons metálicos, facilitando assim, a dissolução do metal. (figura 13)

Figura 13 - Representação esquemática do mecanismo de ruptura por absorção

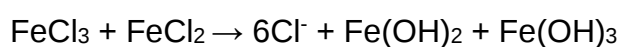


FONTE: (Ribeiro *et al*, 2014)

c) Teoria do complexo transitório: os cloretos concorrem com os íons hidroxila para combinarem com os íons ferrosos produzidos pela corrosão, formando um composto solúvel de cloreto de ferro (complexo transitório). Difundem-se a partir do ânodo e destroem a camada de hidróxido de ferro, permitindo o contínuo processo de corrosão. Afastando-se da zona anódica, o complexo é rompido, precipitando o hidróxido de ferro e assim, o cloreto fica livre para transportar mais íons ferrosos no ânodo. Com o avanço da corrosão, mais íons de ferro migram para o interior do concreto, formando óxidos mais altos com o oxigênio, resultando em um aumento quatro vezes maior, produzindo aumento de tensões internas e fissuração do concreto. Pellizzer (2015) propõe uma visão simplificada desse fenômeno complexo através das seguintes reações:



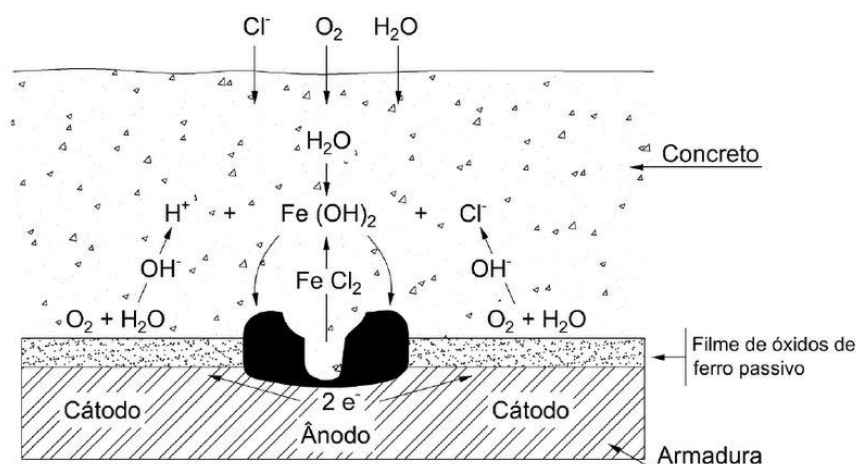
Que por hidrólise transforma-se em:



Segundo Helene (1993) as reações continuam sem consumir os íons cloreto. Pequenas quantidades de cloretos, podem, portanto, ser responsáveis

por corrosões intensas. Sempre que a corrosão não for interrompida, mais ânions cloreto migram para regiões anódicas, intensificando o processo corrosivo. Um esquema do complexo transitório é apresentado na figura 14.

Figura 14 - Formação do complexo transitório na corrosão por íons cloretos

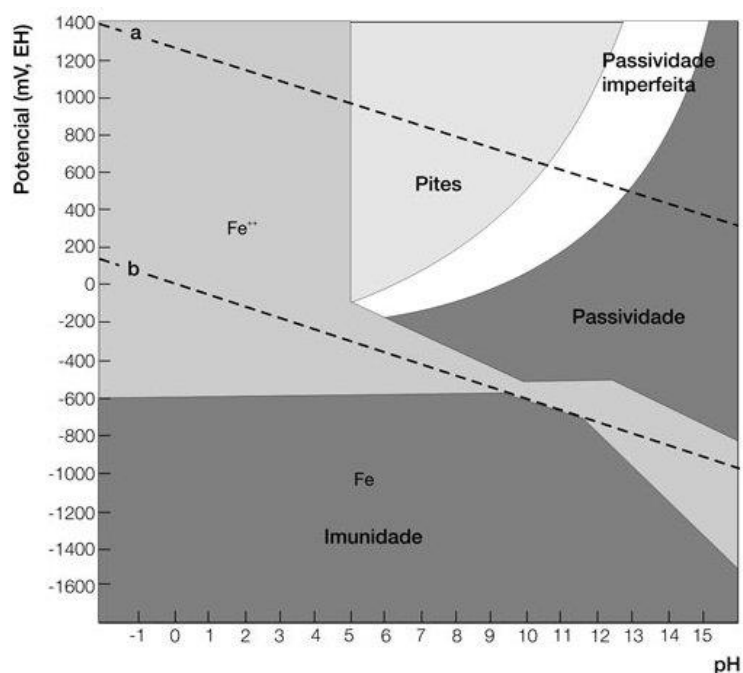


FONTE: (CASCUDO,1997 *apud* PELLIZZER, 2005)

Cascudo (2000, *apud* Vitali, 2013) aponta que a primeira teoria está relacionada ao início da corrosão, enquanto as outras duas teorias referem-se ao período de propagação. Sendo assim, o cloreto, além de despassar a armadura, acelera o processo corrosivo, bem como aumenta a condutividade do eletrólito.

Diante da corrosão das armaduras pelos cloretos, o diagrama de Pourbaix (figura 15), foi simplificado para o sistema ferro-água com cloretos.

Figura 15 - Diagrama de Pourbaix simplificado para o sistema ferro-água com cloretos



FONTE: (Ribeiro *et al*, 2014)

Comparando o diagrama acima com o diagrama do Fe da figura 4, observa-se que a região de passividade sofreu um decréscimo e surgiram duas novas regiões: a de passividade imperfeita, que é relatada na teoria do filme óxido e uma maior região de corrosão, composta pela corrosão por pites (característica de cloretos).

Com o intuito de avaliar a agressividade ambiental a partir da taxa de deposição de cloretos [mg/(m².d)], a ABNT NBR 14643:2001 estabelece categorias que classificam a contaminação da atmosfera pelos íons cloretos (tabela 4), nos ambientes em que as edificações estão/serão inseridas.

Tabela 4 - Agressividade ambiental de acordo com a taxa de deposição de cloretos

Taxa de deposição de Cl- mg/(m ² .d)	Categoria
$B \leq 3$	B ₀
$3 < B \leq 60$	B ₁
$60 < B \leq 300$	B ₂
$300 < B \leq 1500$	B ₃

NOTAS

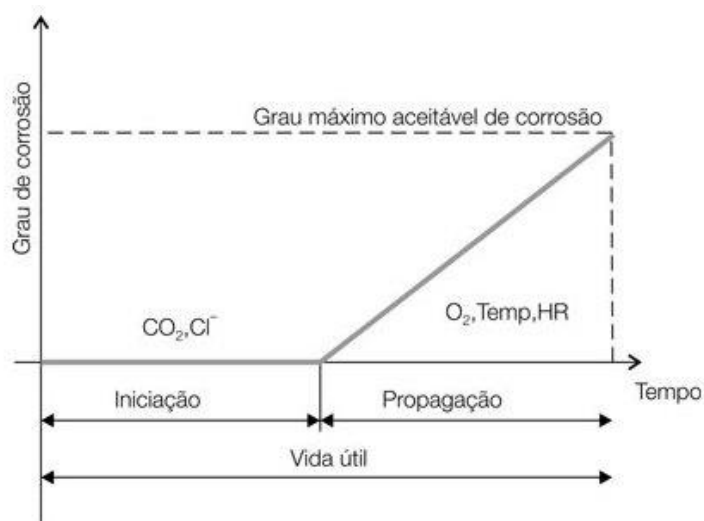
- 1 A determinação do teor de cloreto para esta Norma está baseada no método da vela úmida especificado na NBR 6211.
- 2 Resultados obtidos na aplicação de diferentes métodos para a determinação do teor de cloretos na atmosfera nem sempre são comparáveis e conversíveis.
- 3 Para os objetivos desta Norma a taxa de deposição de cloreto é expressa como média anual. Os resultados de medidas de curto prazo são muito variáveis e a dependência de efeitos climáticos é muito forte.
- 4 Qualquer taxa de deposição de cloreto da categoria B0 é insignificante do ponto de vista de ataque de corrosão.
- 5 Contaminação excessiva por cloreto típica de zona de arrebentação e névoa marinha está fora do escopo desta Norma.

FONTE: (ABNT NBR 14643:2001)

2.2.4 Modelos de vida útil do aço

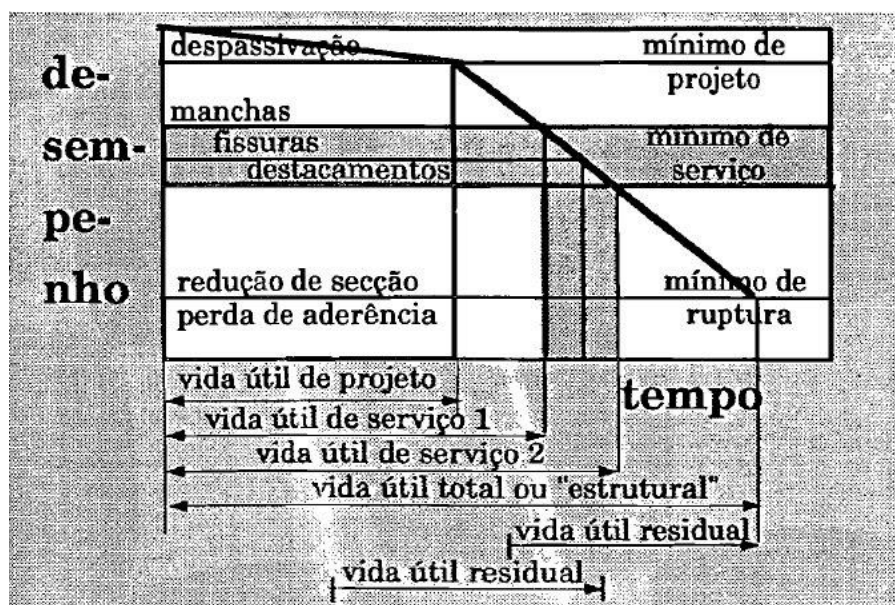
Diante do comprometimento da durabilidade de estruturas de concreto armado atacadas pela corrosão, pesquisadores como Tutti (gráfico 4) e Helene (gráfico 5) propuseram modelos para estimar o tempo de vida útil de uma estrutura diante o grau de corrosão.

Gráfico 4 - Modelo de vida útil proposto por Tutti



FONTE: (RIBEIRO *et al*, 2014)

Gráfico 5 - Modelo de vida útil proposto por Helene



FONTE: (HELENE, 1993)

Segundo Cascudo (1997, *apud* Pellizzer, 2015) o modelo proposto por Tuutti leva em conta a influência de vários fatores na previsão da vida útil, os quais podem ser subdivididos em três grupos: fatores relativos aos materiais (relação a/c, cobertura, tipo de cimento, etc.), fatores estruturais (dimensões das estruturas, dimensões da armadura, tipo de elemento estrutural, etc.) e fatores ambientais (teores de Cl⁻ e CO₂ do ar, umidade, temperatura, etc.)

Para Ribeiro *et al.* (2014) o modelo proposto por Tuutti divide-se em duas fases, a de iniciação e a de propagação. Nesse modelo, o período de iniciação é definido com o tempo em que os agentes agressivos levam para atravessar o revestimento, atingir a armadura e provocar sua despassivação, e o período de propagação é definido como o tempo em que a deterioração evolui até chegar a uma condição inaceitável.

Segundo Helene (1993) o período de iniciação corresponde a vida útil de projeto, esse período de tempo, no entanto, é o período que deve ser adotado no projeto da estrutura, a favor da segurança. Já o período de propagação é a chamada vida útil de serviço ou utilização, sendo muito variável de caso a caso pois em certos locais é inadmissível que uma estrutura de concreto armado apresente manchas de corrosão ou fissuras. Em outros casos somente a queda de pedaços de concreto, colocando em risco a integridade de pessoas, pode ser

considerado o momento a partir do qual deve-se considerar terminada a vida útil de serviço. Além de conceituar no modelo de Tutti a vida útil de projeto e a vida útil de serviço ou utilização, o pesquisador aponta a vida útil total como o período de tempo que vai até a ruptura e colapso parcial ou total da estrutura, no qual há uma redução significativa da seção resistente da armadura ou uma perda importante da aderência armadura/concreto.

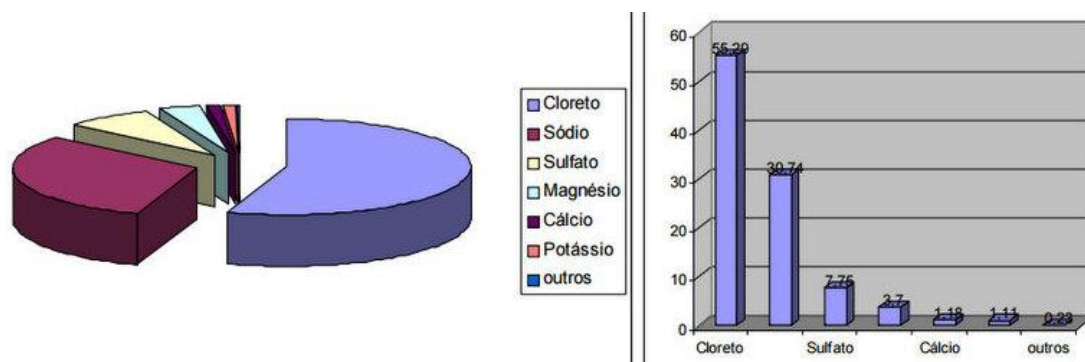
No modelo proposto por Helene (1993), foi introduzido ainda o conceito de vida útil residual, que corresponde ao período de tempo que a estrutura ainda será capaz de desempenhar suas funções, contado neste caso a partir da data de uma vistoria. Essa vistoria e correspondente diagnóstico pode ser efetuado a qualquer instante da vida em uso da estrutura. O prazo final, neste caso, tanto pode ser o limite das condições de serviço quanto o limite de ruptura, dando origem a duas vidas úteis residuais; uma mais curta contada até o aparecimento de manchas, fissuras ou deslocamento do concreto e outra longa contada até a perda significativa da capacidade resistente do componente estrutural.

2.3 ORIGEM E CARACTERIZAÇÃO DO ÍON CLORETO

2.3.1 Zonas de agressividade as estruturas de concreto

Segundo o IBGE (2011), o Brasil possui uma costa com extensão de 7.367 km, com 26,6% da população brasileira morando em municípios de zona costeira. Sua costa é banhada por sua totalidade pelo Oceano Atlântico. Esse oceano possui “os seis íons mais abundantes da água do mar, que compõem juntos cerca de 99% dos sais, são eles o Cl^- , Na^+ , SO_4^{2-} , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ ” (gráfico 6). (LIMA *et al.*, 2005)

Gráfico 6 - Composição dos íons da água do mar



Fonte: (LIMA *et al.*, 2005)

Em termos de números, os teores médios desses íons encontrados no Oceano Atlântico podem ser verificados de acordo com a tabela 5.

Tabela 5 - Concentrações dos principais íons presentes na água do mar

Íons	Teores médios
Magnésio (Mg^{2+})	1.400 mg/L
Sulfato (SO_4^{2-})	2.800 mg/L
Sódio (Na^+)	11.000 mg/L
Cloreto (Cl^-)	20.000 mg/L

Fonte: (RIBEIRO, *et al.* 2014)

Dentre os sais, o cloreto constitui cerca de 55% da composição da água do mar, com isso as edificações que habitam o litoral brasileiro sofrem com a agressividade ambiental imposta por esse íon.

Segundo a ABNT NBR 6118:2014 a agressividade ambiental está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas.

Para identificar o nível de agressividade, é necessário analisar o tipo de ambiente no qual a estrutura estará exposta e o risco de deterioração que esse ambiente oferece. Essa classificação deve ser de acordo com o exposto na tabela 6.

Tabela 6 - Classes de Agressividade Ambiental (CAA)

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

FONTE: (ABNT NBR 6118:2014)

Segundo Ribeiro *et al.* (2014) a velocidade de corrosão em atmosfera marinha pode ser da ordem de 30 a 40 vezes maior à que ocorre em atmosfera rural (pura), dependendo, dentre outros fatores, da proximidade que a estrutura de concreto se encontra da água do mar.

Ao analisar a tabela 6, vê-se que a classificação ambiental é genérica, ficando sujeita a interpretações próprias do projetista que pode subjetivamente adotar uma ou outra classificação expondo às vezes a estrutura a uma agressividade à qual não está adequada. Por exemplo, é especificada uma classe de agressividade em ambiente marinho e outra em zona onde ocorrem respingos de maré, sem, contudo, indicar e/ou quantificar o elemento limítrofe utilizado. (ALVES, 2007)

Com isso, Mehta e Manmohan (1980), CEB (1992), Barbudo (1992), Helene (1993), Mehta e Monteiro (1994) e Guimarães (2000) fazem outra classificação mais detalhada, de acordo com a correspondência entre a localização da estrutura de concreto e o tipo de deterioração provocada pela exposição da área de maior agressividade ambiental, a área salina, (ANDRADE, 2001 *apud* ROMANO, 2009), relatadas conforme a figura 16 e Tabela 7.

Figura 16 - Zonas de agressividade às estruturas de concreto



FONTE: (DURACRETE, 1999 *apud* SILVA, 2011)

Tabela 7 - Correspondência entre a localização da estrutura e a deterioração

Área	Características	Tipos de deterioração
Zona de atmosfera marinha (névoa salina)	O concreto nunca está diretamente em contato com a água do ar, porém é atingido pela névoa salina que vem do oceano. O nível de cloretos pode cair à medida que as construções se afastam do mar, mas, em alguns casos, dependendo do tipo da costa e da direção preferencial dos ventos, a névoa salina pode penetrar até muitos quilômetros do litoral.	- Correção da armadura induzida por cloretos; - Danos causados pelo efeito do frio.
Zona de respingo de marés	Localiza-se acima do nível da maré alta, estando sujeita a ação direta da água do mar através da molhagem do concreto pelas ondas. Essa área é uma das mais sujeitas a deterioração através da penetração de agentes agressivos pelo cobrimento de concreto. O teor de umidade,	- Correção da armadura induzida por cloretos; - Abrasão pela ação do impacto das ondas; - Danos causados pelo efeito do frio.

	juntamente com a presença de oxigênio, são fatores que contribuem para a deterioração da armadura.	
Zona de variação das marés	O concreto está submetido à ação dos ciclos de molhagem/secagem onde há uma combinação dos mecanismos de absorção e difusão de íons no concreto, retendo uma grande quantidade de cloretos no interior do material. Além disso, existe o efeito físico do choque das ondas e partículas em suspensão, que podem causar lançamentos das camadas superficiais do material.	- Correção da armadura induzida por cloretos; - Abrasão pela ação das ondas, gelo ou outros objetos; - Ataque biológico causado por microrganismos; - Ataque químico ao concreto.
Zona submersa	O processo de difusão de cloretos é o único mecanismo de transporte atuante. Contudo, o concreto pode estar sujeito a ação de ataques químicos, principalmente por íons magnésio ou sulfato.	- Ataque químico ao concreto; - Ataque biológico causado por microrganismos.

FONTE: ANDRADE (2001, *apud* ROMANO 2009)

2.3.2 Formação, transporte e deposição do aerossol marinho

O aerossol marinho é o conjunto de soluções salinas formadas pela quebra das ondas do mar, essas partículas ao entrar em contato com as edificações podem diminuir a vida útil da estrutura. (O'DOWD & LEEUW, 2007 *apud* SILVA, 2011).

Segundo Júnior (2011) na zona do mar, próximo à costa onde ocorre a quebra das ondas, são formadas bolhas pelo aprisionamento do ar na superfície da água que ao romper formam o spray marinho (figura 17).

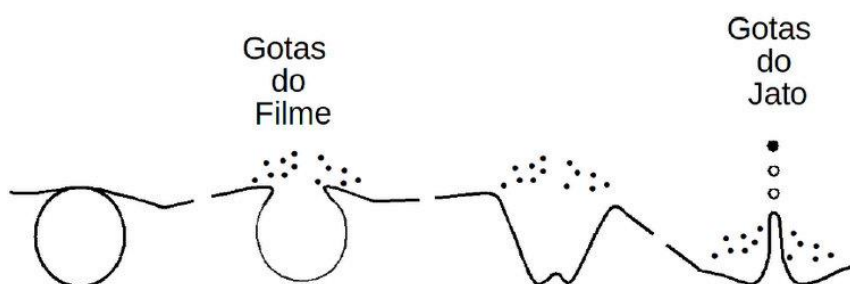
Figura 17 - Formação do aerossol marinho pela quebra das ondas



Fonte: (BORGES, 2010)

Além disso, o aerossol marinho pode ser produzido pela agitação da superfície do mar em decorrência da ação de ventos, de tal forma que essa agitação gera bolhas de ar que em seguida explodem produzindo gotículas em forma de espuma ou película. Estas bolhas explodem porque a energia superficial é transformada em energia cinética. Assim, um jato de água é ejetado rapidamente rompendo-se em contato com o ar e formando as gotículas (VITALI, 2013), conforme a figura 18. Vitali (2013) ainda cita que esse tipo de produção do aerossol marinho contribui na formação de partículas de maior tamanho. Vilasboas (2013) complementa que dependendo do tamanho da bolha e da energia cinética, ela pode injetar entre uma e dez gotas até 15 cm acima da superfície do mar.

Figura 18 - Formação do spray marinho por rompimento de bolhas



FONTE: (CAMPOS, 1995 *apud* VILASBOAS, 2013).

De acordo com o modelo de Petelski e Chomka (1997, *apud* Vitali, 2013) os fluxos existentes do aerossol marinho são de três tipos (figura 19):

1) Os fluxos de deposição: fluxos de deposição na zona costeira (F_{i1} e F_{i2}) e fluxos de deposição na zona de atmosfera marinha (F_{d1} e F_{d2});

Os fluxos de deposição (F_d) e (F_i) são provocados pelo efeito gravimétrico, ou seja, as partículas se movem para as camadas inferiores através da gravidade. Esse modelo diz ainda que a deposição ocorre também pelo efeito de fricção entre as massas de ar e os obstáculos, fazendo com que as partículas salinas do aerossol se depositem sobre a superfície destes. Além disto, os fluxos de deposição podem ocorrer tanto da forma úmida (acompanhados de chuva), como da forma seca (ausência de chuva).

2) Os fluxos de transporte: fluxos advectivos que entram e saem na zona costeira (F_{u1} , F_{u2} e F_{u3});

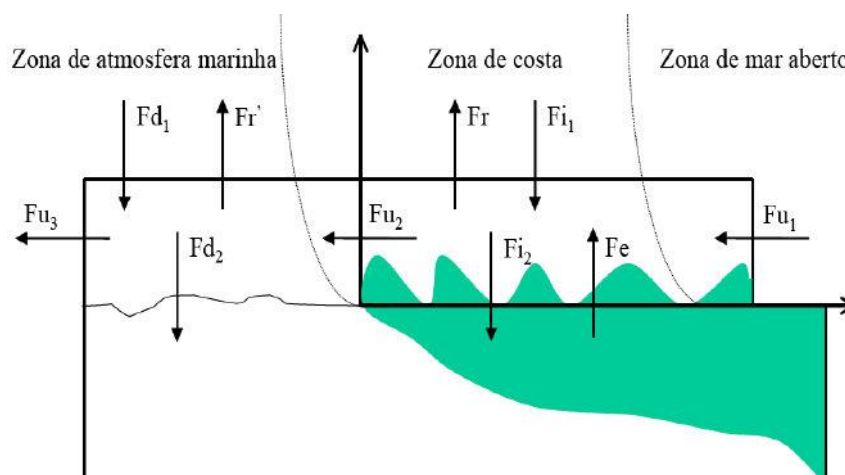
Os fluxos advectivos, os que entram e saem na zona costeira, são os mais importantes, pois esta é a zona de maior influência das partículas maiores, transportadas de maneira predominante pela ação dos ventos. Entrando na atmosfera marinha, as partículas do aerossol sofrem deposição pela ação gravimétrica ou devido à fricção com obstáculos (quando presentes), além de um fenômeno menos significativo que é a ressuspensão de pequenas partículas.

3) O fluxo de emissão do aerossol marinho: fluxo de emissão na superfície do mar (F_e).

O fluxo de emissão na superfície do mar é aquele presente na formação do aerossol marinho, a partir da quebra das ondas e movimentação da superfície do mar, as bolhas formadas se quebram e geram partículas que respigam e emitem no ar.

Os fluxos difusos (F_r , F_r') podem ocorrer em paralelo aos fluxos advectivos, apesar de serem menos significativos, motivo pelo qual não são apresentados no modelo em questão e são considerados integrados aos fluxos de deposição e advectivos. (MEIRA, 2004 *apud* VITALI, 2013)

Figura 19 - Esquema dos fluxos inerentes ao aerossol marinho



FONTE: (ROMANO 2009, *apud* VITALI, 2013)

Segundo Morcillo et al. (2000, *apud* Vitali, 2013) a partícula suspensa no ar, na forma líquida ou sólida, tem variação de $0,1\mu\text{m}$ a $400\mu\text{m}$. Para Ambler e Bain (1955, *apud* Meira 2004), as partículas maiores que $10\mu\text{m}$ são as denominadas de depositáveis e ficam pouco tempo em suspensão na atmosfera; já as partículas menores que $10\mu\text{m}$, são as partículas flutuantes e viajam centenas de quilômetros na atmosfera sem sedimentar. Esses autores ressaltaram também que a corrosão é causada por partículas salinas maiores que $10\mu\text{m}$, isso se refere a maior ou menor facilidade das partículas se depositarem em função do seu tamanho.

2.4 PROPRIEDADES E COMPONENTES DO CONCRETO QUE INFLUENCIAM A PENETRAÇÃO DE ÍONS CLORETO

2.4.1 Espessura do revestimento do concreto

O concreto de revestimento sobre a armadura constitui a sua chamada proteção física. Essa proteção nada mais é que uma barreira física de agentes agressivos desencadeadores da corrosão. Além de agir como uma barreira física, o revestimento garante o meio alcalino para que a armadura tenha sua proteção química. (HELENE 1986, *apud* PELLIZZER, 2015)

Para que a armadura fique protegida dos agentes externos, a espessura do revestimento de concreto dependerá da classe de agressividade do ambiente

e do elemento estrutural que será construído e do tipo de estrutura. Na tabela 8 são especificados os cobrimentos nominais mínimos a serem adotados para cada situação.

Tabela 8 - – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para c = 10 mm

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

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

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

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

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

FONTE: (ABNT NBR 6118:2014)

A norma americana, ACI 308 (2005), propôs uma nova classificação diante o ambiente de exposição do concreto armado, conforme a tabela 9. (ALVES, 2007)

Tabela 9 - Recomendações de cobrimento para estruturas de concreto armado - ACI

Tipo de Exposição do Concreto armado	Elemento estrutural	Espessuras mínimas de cobrimento	
		pol	mm
Em contato e permanentemente exposto ao solo	Qualquer	3	75
Respingo e zona atmosférica sujeita ao spray marinho	Qualquer	2,5	65
Zona atmosférica não sujeita ao spray marinho	Qualquer	2	50
Submerso	Qualquer	2	50
Exposto ao solo ou ao meio ambiente	Qualquer	1.1/2 a 2	38 a 50
	Lajes, parede e juntas	3/4 a 1.1/2	19 a 38

Não exposto ao meio ambiente, nem em contato com o solo	Vigas e pilares	1.1/2	38
	Cascas e placas curvas	3/4 a 1.1/2	19 a 38

Fonte: (ALVES, 2007)

Comparando os dados da norma brasileira com os dados da norma americana, para uma agressividade forte, sendo do tipo IV na norma brasileira e do tipo “respingo e zona atmosférica sujeita ao spray marinho” na ACI, tem-se que a norma americana é mais rígida, pois recomenda uma espessura de cobrimento mínima de 65mm enquanto que a norma brasileira sugere um cobrimento mínimo para o concreto armado de 50mm.

Segundo Alves (2007) quando há a presença de cloreto na atmosfera, a espessura de cobrimento deve ser especificada com o máximo rigor para que venha a inibir que os íons cloreto que penetrem no concreto alcance níveis críticos de concentração, ocasionando despassivação das armaduras e início do processo corrosivo que reduz a vida útil das estruturas, afetando sua estabilidade, funcionalidade e estética, necessitando de recuperação.

Inclusive, as normas europeias, além das recomendações dos geométricos cobrimentos, especificam também a propriedade de resistência à penetração de agentes agressivos além das propriedades mecânicas e eletroquímicas como parâmetro fundamental na garantia da vida útil projetada.

2.4.2 Tipo de cimento e adições

No que se refere ao cimento, ele influencia de duas formas no transporte de cloretos: a capacidade de fixação de íons Cl^- na matriz do concreto e a dificuldade oferecida da movimentação de cloretos no interior do concreto. O consumo de cimento atua nessas duas vias, pois um alto consumo diminui a porosidade da matriz de concreto bem como aumenta a quantidade de clínquer por metro cúbico de concreto, gerando, assim, uma maior capacidade de fixar cloretos. (JÚNIOR, 2011)

Outro fator que também influencia na penetração de cloretos, é a composição química do cimento, segundo Pontes (2006), o C_3A e o C_4AF se combinam com os cloretos para formar os cloroaluminatos. Essa reação diminui o fluxo de penetração de cloretos devido à redução da concentração de íons

livres na solução aquosa dos poros do concreto (PAGE, SHORT e HOLDER, 1986). De acordo com Rasheeduzzafar et al. (1990), quanto mais C_3A contiver o cimento, mais tempo levará a corrosão das armaduras para se iniciar, devido à sua influência na fixação de cloretos. (tabela 10)

Vitali (2013) menciona que a redução na concentração de cloretos livres é em torno de 90%, quando o teor de C_3A do cimento aumenta de 2,8% para 10%, segundo estudos realizados por Al-Khaja (1997).

Tabela 10 - Acréscimo de tempo para iniciar a corrosão em função do teor de C_3A

Teor de C_3A	% de cloretos livres	Acréscimo de tempo para iniciar a corrosão
2%	86%	Referência
9%	58%	1,75 vezes
11%	51%	1,93 vezes
14%	33%	2,45 vezes

Fonte: (RASHEEDUZZAFAR *et al.* 1990, *apud* VITALI, 2013)

A ABNT NBR 12655:2015 apresenta a tabela 11 que determina limites do teor máximo de cloretos (Cl^-) no concreto % sobre a massa de cimento.

Tabela 11 - Limites do teor máximo de cloretos (Cl^-) no concreto % sobre a massa de cimento

Tipo de 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 em condições de exposição não severas (seco ou protegido da umidade nas condições de serviço da estrutura)	0,4
Outros tipos de construção em concreto armado	0,3

FONTE: (ABNT NBR 12655:2015)

Com o passar dos anos as adições ao cimento se tornaram constantes, visto que, proporciona uma melhoria no desempenho do concreto, em relação à penetração de cloretos, as adições contribuem com duas frentes. A princípio, por ter grãos de pequenas dimensões, o efeito de empacotamento dificulta o transporte dos cloretos, preenchendo os poros vazios (MEHTA; MONTEIRO, 2008). Além disso, alguns tipos de adição que contêm alumina aumentam a

capacidade de fixação de cloretos, diminuindo a oferta de cloretos livres na matriz (DELAGRAVE *et al.*, 1997; LARSEN, 1998). Exemplos dessas adições são a escória de alto forno e a cinza volante. (JÚNIOR, 2011)

Meira (2004, *apud* Vitali, 2013) complementa a ideia partir da tabela 12, demonstrando que as adições mencionadas por Júnior (2011) reduzem o coeficiente de difusão de cloretos, pois reduzem a estrutura porosa em volume e diâmetro.

Tabela 12 - Coeficiente de difusão a 25°C em pastas de cimento com fator a/c: 0,5

Tipo de cimento	Coeficiente de difusão x 10⁻⁹ (cm²/s)
Portland comum	44,7
30% de cinza volante	14,7
65% de escória	4,1
Resistentes a sulfatos	100,0

FONTE: (MEIRA (2004, *apud* VITALI, 2013)

Apesar das adições de cinza volante e escória demonstrarem benefícios frente a difusão de cloretos, o uso de cimentos resistentes a sulfatos, como pode ser observado na tabela 12, apresenta desvantagens, pois quando o concreto carbonata os cloroaluminatos, os mesmos tornam-se instáveis e permitem que os íons cloro sejam liberados para a solução aquosa do concreto, segundo Neville (1997, *apud* VITALI, 2013).

Segundo Silva (2011) cimentos como o Portland de alto-forno (CP III) ou o Portland pozolânico (CP IV) são bastante indicados para reduzir a penetração de íons cloreto, pois ambos desprendem mais lentamente o calor de hidratação, proporcionando maior resistência ao concreto e um menor aparecimento de fissuras.

Com relação aos aditivos, os aceleradores de pega e endurecimento, Helene (1986) afirma que a maioria desses têm na sua composição cloreto de cálcio (CaCl₂) que se dissolve liberando ânions Cl⁻ que podem destruir a película passivadora proporcionada pelo meio alcalino, acelerando permanentemente a corrosão. (PELLIZZER, 2015)

2.4.3 Fator água/cimento

A relação água/cimento determina a microestrutura das pastas, argamassas e concretos de cimento Portland. A quantidade, forma e distribuição dos poros capilares que em última instância representam o caminho de transporte do ânion cloreto, são decorrentes da relação a/c, da idade e da cura, ou seja, do grau de hidratação dos grãos de cimento. (HELENE, 1993)

Segundo Vilasboas (2013) quanto menor o fator a/c, mais próximos estarão os grãos de cimento uns dos outros e, portanto, menor a porosidade da pasta de cimento.

De certo que o aumento da relação a/c aumenta a porosidade, um estudo realizado por Alanis *et al.* (1990, *apud* Pontes, 2006) (tabela 13), demonstra a porcentagem do volume de poros em pastas de cimentos com diferentes fatores a/c.

Tabela 13 - Volume de poros em pastas de cimentos com diferentes relações a/agl

Relação a/agl	Volume de poros (%)
0,4	23,3
0,5	34,5
0,6	42,1
0,8	53,4

Fonte: (ALANIS *et al.* 1990, *apud* PONTES, 2009)

A relação água/cimento é especificada em projeto de acordo com recomendações normativas, a ABNT NBR 6118:2014 (tabela 14), correlaciona o fator a/c do concreto em função da classe de agressividade ambiental.

Tabela 14 - Correspondência entre classe de agressividade e fator água/cimento

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45

NOTAS:

1. O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.
2. CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.
3. CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

FONTE: (ABNT NBR 6118:2014)

Com o intuito de auxiliar os projetistas na determinação da relação a/c da edificação projetada e garantir a durabilidade das estruturas em ambientes expostos as condições especiais, a ABNT NBR 12655:2015, a partir da tabela 15, correlacionou o máximo fator água/cimento com tais tipos de exposições.

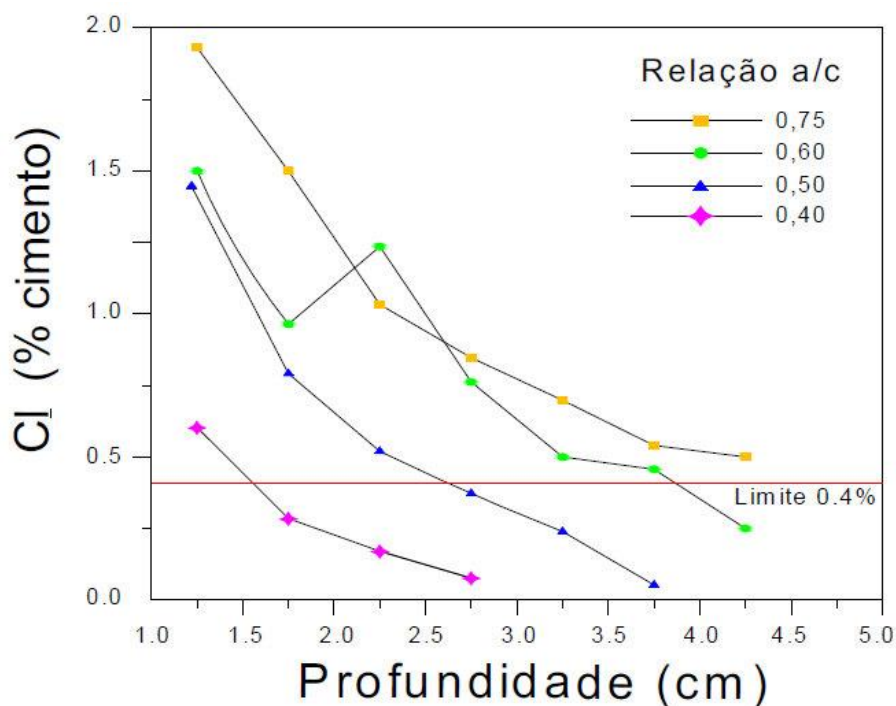
Tabela 15 - Requisitos para o concreto, em condições especiais de exposição

Condições de exposição	Máxima relação água/cimento, em massa, para concreto com agregado normal
Condições em que é necessário um concreto de baixa permeabilidade à água	0,50
Exposição a processos de congelamento e descongelamento em condições de umidade ou a agentes químicos de degelo	0,45
Exposição a cloretos provenientes de agentes químicos de degelo, sais, água salgada, água do mar, ou respingos ou borrifação desses agentes	0,40

Fonte: (ABNT NBR 12655:2015)

Em um estudo realizado por Jaergemann (1990, *apud* Alves, 2007), gráfico 7, a partir de diferentes valores de a/c , verificou-se que todas camadas de cobrimentos ultrapassaram o limite máximo de teor de cloretos de 0,40% em relação à pasta de cimento, porém, concretos com baixa relação a/c não atingiram a profundidade da armadura, inibindo assim a corrosão e preservando a estrutura e sua vida útil especificada em projeto.

Gráfico 7 - Efeito da relação água-cimento na penetração de cloretos



FONTE: (ALVES, 2007)

Comportamento semelhante é notado em estudos que comparam o desempenho em relação à penetração de cloretos entre os Concretos de Alto Desempenho (CAD) e concretos convencionais. Al-Khaja (1996) verificou que a concentração de cloretos em relação à massa de cimento em concretos convencionais (a/c 0,48) é na ordem de duas vezes maior que no CAD (a/c 0,39). (JÚNIOR, 2011)

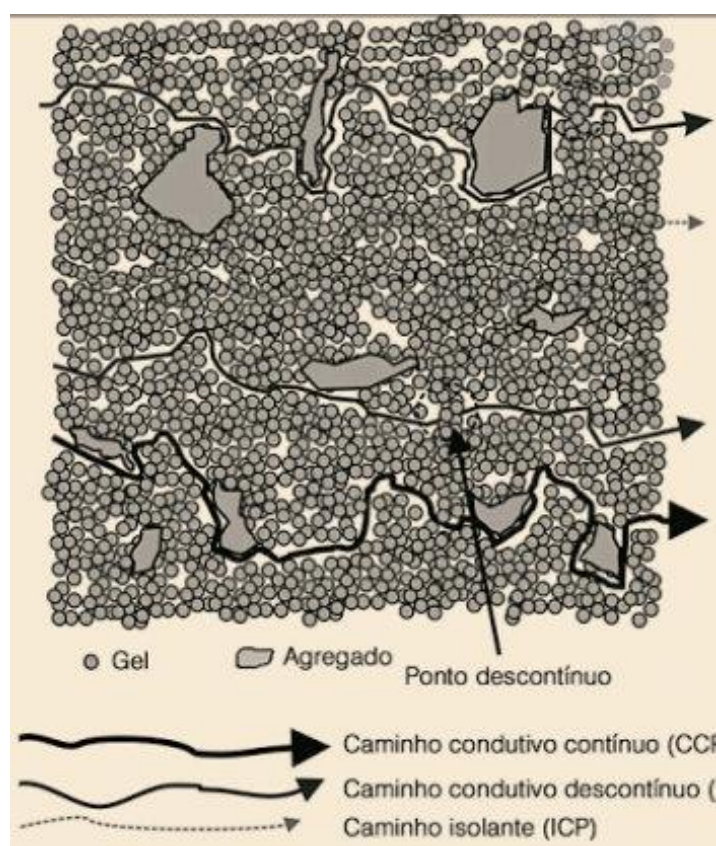
2.4.4 Porosidade

O desempenho do concreto é altamente dependente da estrutura e da distribuição do tamanho de poros, em particular sua durabilidade e resistência à penetração de agentes agressivos, tais como os íons cloreto. A destruição do concreto e a corrosão das armaduras dependem dessa estrutura de poros, na qual os mecanismos de degradação se fundamentam. (RIBEIRO *et al.*, 2014)

Segundo SONG11, estes caminhos internos (figura 20) podem ser classificados em :

- Caminho condutivo contínuo (CCP), que permite a passagem de corrente elétrica.
- Caminho descontínuo (DCP) onde, devido à sua descontinuidade, não há passagem de corrente no interior do concreto.
- Caminho isolante (ICP) que, conforme a quantidade de água e os produtos de hidratação no interior dos poros do concreto, pode ou não conduzir correntes. (RIBEIRO *et al.*, 2014)

Figura 20 - Esquema da distribuição do tamanho de poros na pasta de cimento endurecida



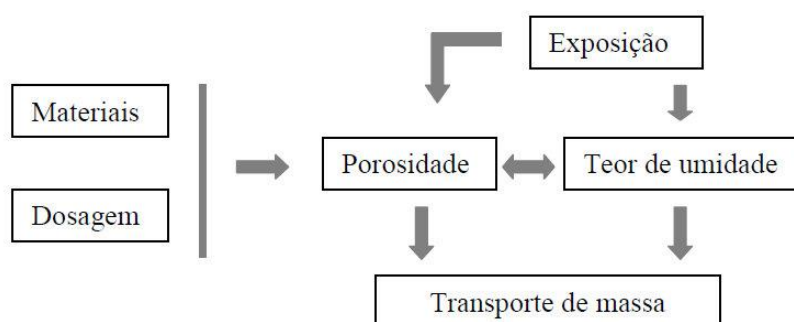
FONTE: (RIBEIRO *et al.*, 2014)

Ainda segundo o autor, esses vazios e caminhos na estrutura do concreto são decorrentes do uso de água na massa em quantidade superior à necessária para a hidratação do cimento e cujo excesso, ao evaporar, deixa vazios, em virtude da diminuição dos volumes absolutos e também da inevitável incorporação de ar à massa do concreto.

Com isso, Saciloto (2005 *apud* Vitali, 2013) define que a dosagem influencia na penetração de cloretos em ambientes marinhos, pois nos concretos com baixa relação água/cimento, os íons cloro se difundem por caminhos mais tortuosos e desconectados, o que dificulta o seu ingresso para o interior do concreto. Portanto, reduzindo-se a relação água/cimento, reduz-se automaticamente o volume de poros e a permeabilidade do concreto, como visto anteriormente na tabela 13.

Sato (1998) aponta outros fatores que influenciam na porosidade, e consequentemente no transporte de massa são eles, os materiais e a dosagem dos mesmos, as condições de cura e exposição e o teor de umidade ambiente (figura 21). As condições de cura e exposição influenciam na diferença de porosidade nas regiões próximas à superfície quando comparada com as regiões mais internas, devido às diferenças no processo de hidratação e às reações químicas que podem ocorrer entre as substâncias presentes no meio ambiente e no concreto. Um outro fato a ser considerado é a interação que existe entre o teor de umidade ambiente e a porosidade, o primeiro influenciando na hidratação do cimento e na ocorrência de reações químicas e em consequência na porosidade e está afetando a quantidade de umidade retida no material.

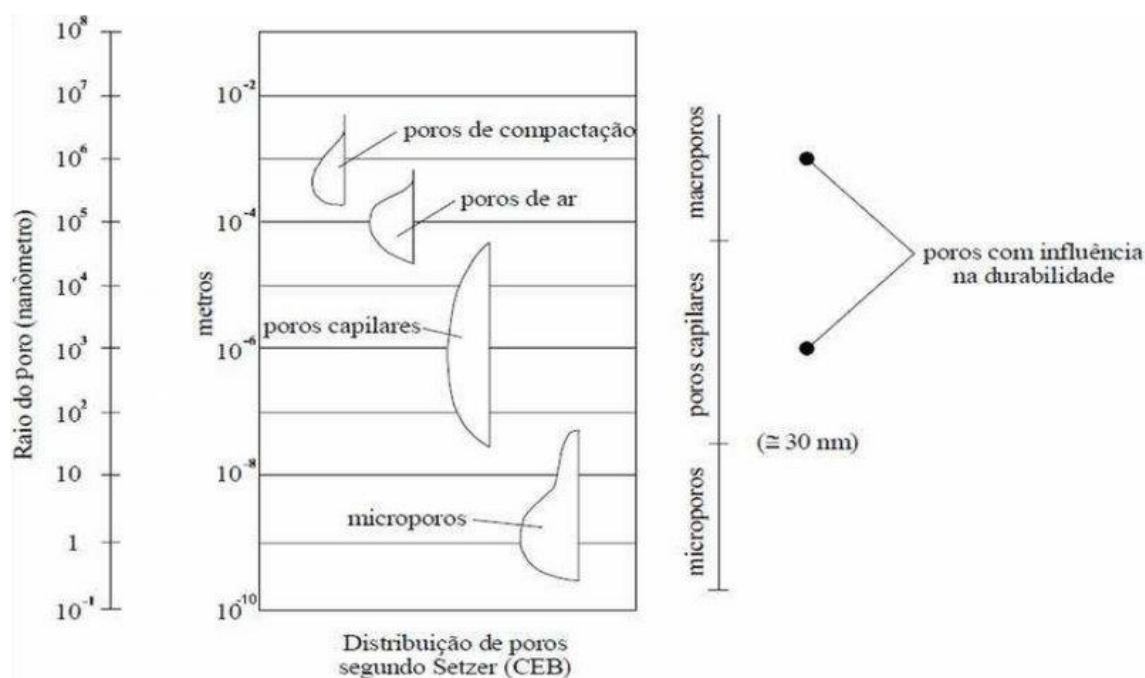
Figura 21 - Fatores que interferem na porosidade e no transporte de massa



FONTE: (SATO, 1998)

Segundo Cascudo (1999, p. 42 *apud* Vilasboas, 2013), para a durabilidade do concreto, são considerados relevantes os seguintes poros: os decorrentes da compactação (poros de ar aprisionado), os obtidos pelo emprego de aditivos incorporadores (poros de ar incorporado) e aqueles oriundos da saída de água livre do concreto (poros capilares), que são representados na figura 22.

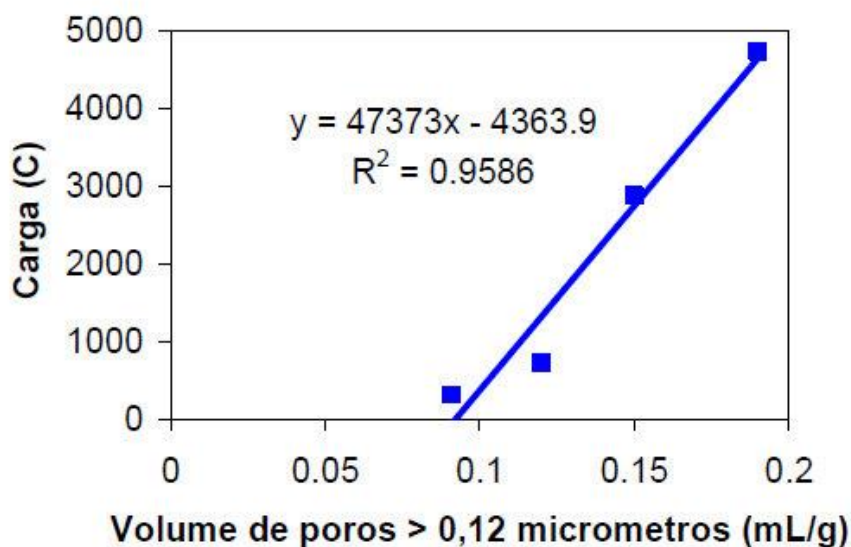
Figura 22 - Distribuição dimensional dos poros no concreto



FONTE: (CEB, Boletim nº183, 1992 *apud* VILASBOAS, 2013)

Os principais responsáveis pela penetração de agentes agressivos no interior do concreto são os poros capilares, que geralmente são interligados e, portanto, favorecem o transporte das substâncias agressivas. (RIBEIRO *et al.*, 2014) A saber, um estudo realizado por Sato (1998), de acordo com a gráfico 8, observa-se que a penetração de íons cloreto ocorreu em proporção direta com o volume de poros maiores que 0,12 micrometros. Naturalmente, quanto mais elevada a quantidade de poros maiores, o transporte de água ou de íons ocorre com maior facilidade e com maior velocidade, influenciando também nestes fenômenos a conectividade entre os poros.

Gráfico 8 - Carga medida em ensaios de penetração de íons cloreto em função do volume de poros com diâmetro maior que 0,12 micrometros



FONTE: (SATO, 1998)

2.5 FATORES QUE INFLUENCIAM O ATAQUE DO ÍON CLORETO NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

2.5.1 Vento

O vento é um dos fatores climatológicos que mais interfere na concentração de cloretos, pois ele é o responsável pela produção do aerossol marinho, e além disso transporta as partículas salinas para a superfície terrestre.

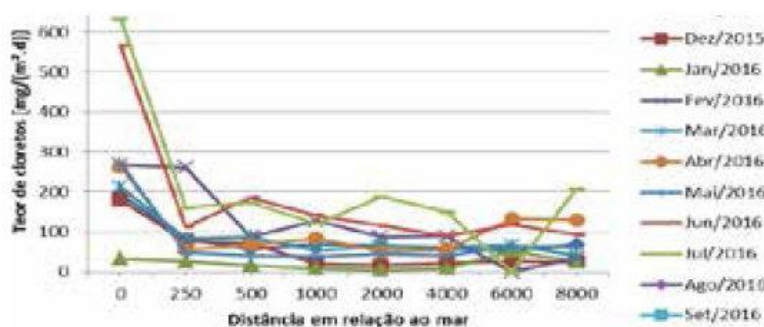
Na produção das partículas de aerossol, segundo Silva (2011) o vento é o fator desencadeante da formação das ondas, e por consequência, do aerossol marinho. Logo, quando a velocidade do vento aumenta, há um aumento na quantidade de partículas presentes no aerossol, contribuindo para o acréscimo da concentração salina. Além disso, de acordo com Lovett (1978 *apud* Pontes, 2006) com o acréscimo da velocidade do vento acresce a formação de partículas de maior tamanho e massa.

O transporte do aerossol marinho também é influenciado pela velocidade e direção do vento, pois quanto maior for sua velocidade, as partículas poderão alcançar maiores distâncias antes de se depositarem, visto que o vento é capaz de se desviar de obstáculos impostos em seu caminho, como edificações,

peças e árvores. De acordo com Costa (2001 *apud* Alves, 2007) “foram encontrados teores de cloreto no interior da cidade de Salvador/BA, a aproximadamente 5km do litoral, com valores maiores do que verificados a 800m de distância do mar”, indicando assim o vento como meio de transporte para as partículas de aerossóis adentrarem a superfície.

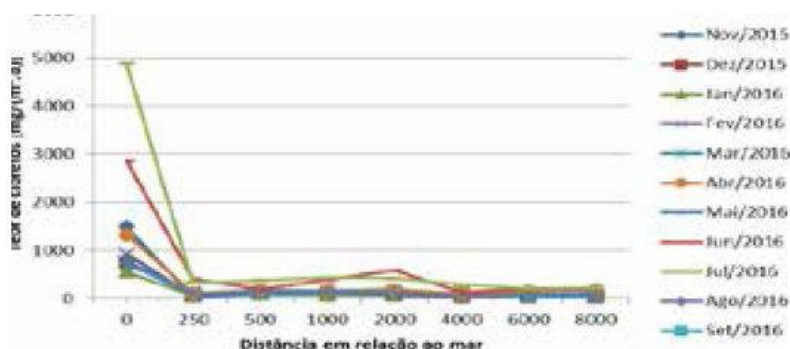
Salienta-se ainda que a concentração de cloretos é maior em regiões com o direcionamento predominante do vento. Isso pode ser ratificado pela pesquisa sobre a concentração de cloretos em Recife/PE, desenvolvida por Cabral e Campos (2016). Nela foi constatada que, na Praia de Iracema a maior concentração de cloreto em Julho de 2016 foi de 632,91 mg/(m².d) (gráfico 9), enquanto que na Praia do Futuro, durante o mesmo período, a maior concentração foi de 5285,06 mg/(m².d) (gráfico 10). Esses pesquisadores atribuíram essa diferença de concentração ao direcionamento predominante dos ventos, haja vista que os ventos adentram a cidade pelo lado da Praia do Futuro, trazendo toda a carga de aerossol marinho e depois que segue para a Praia de Iracema.

Gráfico 9 - Diferença de concentração em relação aos meses de estudo - Praia de Iracema/CE



Fonte: (CABRAL; CAMPOS, 2016)

Gráfico 10 - Diferença de concentração em relação aos meses de estudo - Praia do Futuro/CE



Fonte: (CABRAL; CAMPOS, 2016)

2.5.2 Precipitação pluviométrica

A precipitação pluviométrica, é benéfica perante o ataque de íons cloreto nas estruturas de concreto, uma vez que há diminuição da concentração superficial de cloretos no concreto (VILASBOAS, 2013), apesar de ser uma desvantagem na maioria dos processos de estruturas de concreto armado, como durante a concretagem. Isso se deve ao fato da chuva ocasionar um processo de “lavagem” superficial nas fachadas das estruturas de concreto.

2.5.3 Umidade relativa

A umidade relativa tem sua relação direta com o processo de transporte de cloretos no concreto, provocando um aumento da corrosão com o seu acréscimo, devido à facilidade que o concreto tem em absorver a umidade do meio e perder, com menos facilidade, esta umidade. (PONTES, 2006)

Além disso, Biczok (1964, *apud* Silva, 2011) comenta que estruturas de concreto em zona de atmosfera marinha podem ser atacadas sem estar em contato direto com a água do mar, pois o ar do ambiente marítimo possui sais que podem penetrar na pasta de cimento, sendo esse ataque mais intenso no inverno e outono devido à alta umidade relativa do ar nessas estações do ano.

Com o intuito de relacionar a umidade relativa do ar com a penetração de cloretos, a partir de dados da CEB-1992, Helene (1993) atualizou a tabela da

classificação do grau da agressividade de acordo com a umidade relativa do ambiente, incluindo o risco da penetração de cloretos, conforme a tabela 16.

Tabela 16 - Classificação do grau de agressividade com base na umidade relativa do ambiente

Umidade relativa efetiva (UR)	Carbonatação	Ataque químico	Penetração de cloretos	Corrosão de armaduras	
				Concreto carbonato	Concreto contaminado com cloreto
Muito baixa $\leq$ 45%	1	0	0	0	0
Baixa 45 a 65%	3	0	1	1	1
Média 65 a 85%	2	0	1	3	3
Alta 85 a 98%	1	1	2	2	3
Saturada $\geq$ 98%	0	3	3	1	1

Fonte: (HELENE, 1993)

Legenda:

0 = Risco insignificante

1 = Risco leve

2 = Risco médio

3 = Alto risco

2.5.4 Temperatura

A temperatura além de ser um parâmetro climatológico relevante na concentração de cloretos em estruturas de concreto armado, influencia outros dois fatores, a umidade e a precipitação, pois o aumento da temperatura contribui para o processo de evaporação, que aumenta a umidade e por consequência, a precipitação.

Para Neville (1997 apud Silva, 2011) temperaturas altas são grandes influenciadoras na degradação de uma estrutura de concreto em zona marinha, pois o aumento gradativo da temperatura do meio proporciona o aumento da

cinética das reações químicas que ocorrem no concreto, ou seja, se uma estrutura já vem sofrendo corrosão de armadura devido a íons cloreto, um aumento da temperatura incrementará a velocidade da corrosão. No entanto, de acordo com Vilasboas (2013) a diminuição da temperatura pode promover condensações que retarda o processo de corrosão. Por isso que os ambientes tropicais e equatoriais (climas predominantes no Brasil) são consideravelmente mais agressivos que os climas do norte da Europa, por exemplo.

Diante disso, Pontes (2006) cita que para Helene (1993), um aumento de 15°C para 30°C praticamente duplica o coeficiente de difusão de Cl^- . Entretanto, para Andrade (2001), alguns autores consideram que com o aumento da temperatura durante a cura ocorra uma minimização do coeficiente de difusão dos Cl^- , em função de uma melhoria das condições micro estruturais do concreto.

2.5.5 Altitude

Em um estudo realizado na Venezuela pesquisadores avaliando a estrutura da Ponte General Rafael Urdaneta sobre o Lago de Maracaibo, constataram claramente o efeito da altura no nível de contaminação do concreto, observando que a seis metros do nível do lago o ingresso de cloreto é muito baixo. (RICÓN et al., 2006 apud ROMANO, 2009)

Já no Brasil o mesmo efeito foi verificado por Medeiros, Gobbi e Helene (2010), em uma edificação localizada na Barra da Tijuca no Rio de Janeiro, a 700m do mar, nessa pesquisa constatou-se que os pilares de sustentação do térreo, após perícia, foram os que mais apresentaram corrosão de armadura, devido a corrosão atmosférica, em comparação com os pilares dos pavimentos superiores.

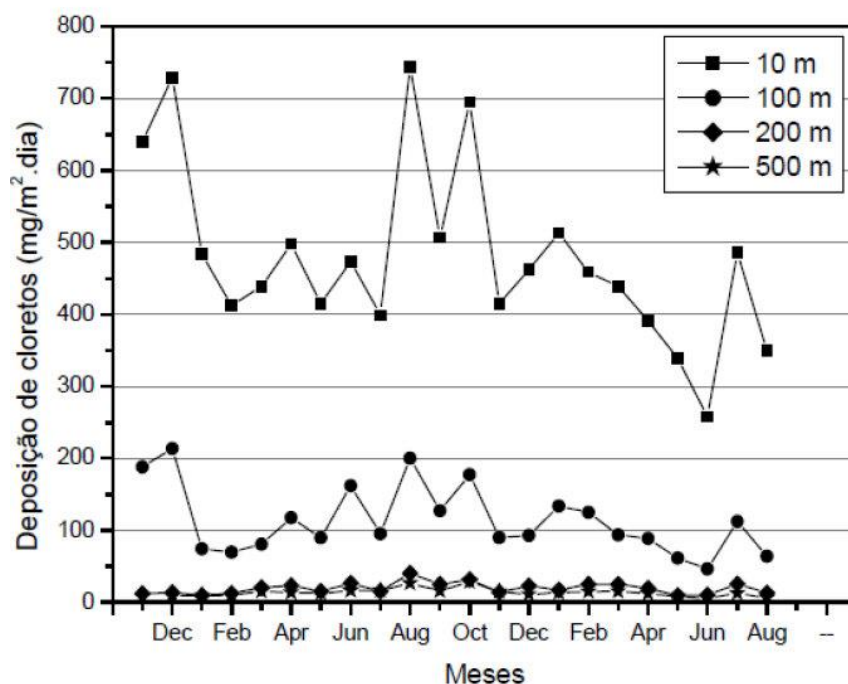
Esses efeitos, segundo Pontes (2006), se devem à presença de partículas maiores, que são fortemente influenciadas pelo efeito da gravidade, fazendo com que não alcancem níveis muito elevados em altitude e depositem-se mais rápido. Ele ainda conclui que esse efeito se acentua nos metros mais próximos ao mar.

2.5.6 Distância em relação ao mar

A distância em relação ao mar é um fator influenciado tanto pelo vento quanto pelo efeito gravimétrico. Enquanto o vento transporta as partículas salinas adentro no continente, o efeito gravimétrico tende a depositar essas partículas. Júnior (2011) complementa que com o aumento da velocidade do vento, estas partículas podem chegar mais longe, mas o efeito gravimétrico é dominante. Além disso, obstáculos presentes no caminho das partículas podem barrar o seu transporte, sobretudo em zonas urbanas.

Segundo Romano (2009), em João Pessoa/PB, Meira *et al.*, (2006) estudaram o comportamento temporal do aerossol marinho através do ensaio da vela úmida e da concentração de cloretos no concreto utilizando pilaretes expostos a 10, 100, 200 e 500m do mar, constatando uma clara redução nas concentrações de cloreto a partir dos 200 primeiros metros em relação ao mar, indicando que a diminuição da agressividade por cloretos é mais importante nas primeiras faixas de terra” (gráfico 11).

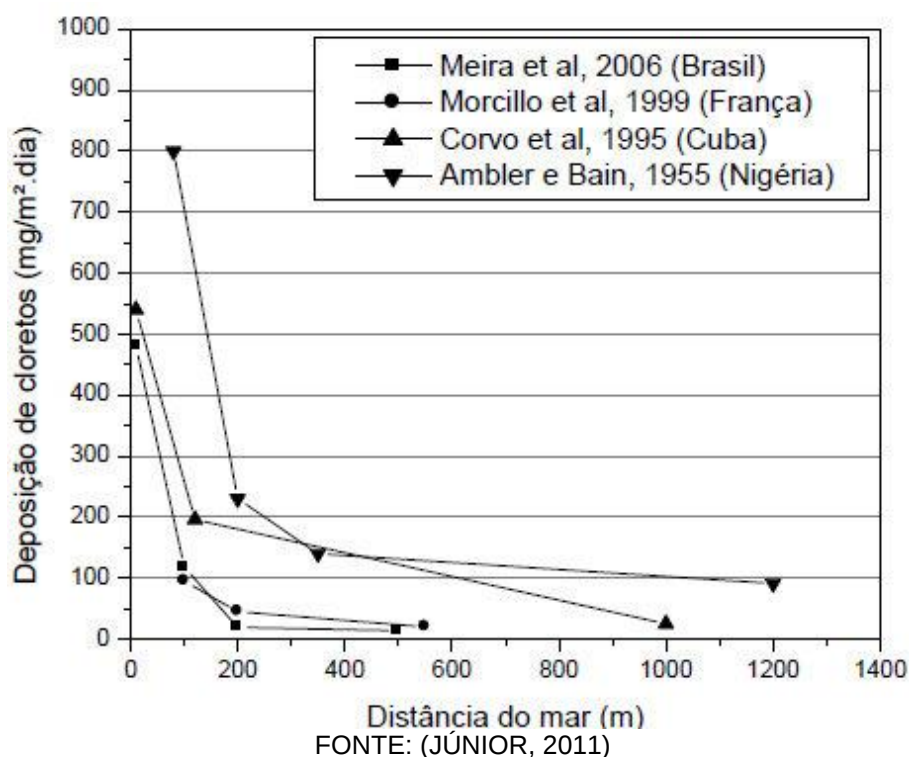
Gráfico 11 - Medida da taxa de deposição média do cloreto, nas distâncias de 10, 100, 200 e 500m em relação ao mar



FONTE: (ROMANO, 2009)

Apesar da influência que a distância em relação ao mar possui na concentração de cloretos depender das características climáticas da região, em pesquisas realizadas em diversas partes do mundo (gráfico 12), é constatado que na faixa dos 200 metros, a deposição de cloretos sofre forte diminuição em todos os resultados apresentados. Nesse ponto, grande número das partículas maiores já se depositou ou foram impedidas de entrar no continente por obstáculos. (JÚNIOR, 2011)

Gráfico 12 - Estudo da distância em relação ao mar de diversos países



Petelski e Chomka (2000, *apud* Pontes, 2006) descrevem que há uma redução da concentração das partículas, de maior diâmetro, à medida que distâncias maiores, em relação ao mar, são atingidas, pois por serem de maior diâmetro e mais pesadas o efeito gravimétrico faz com que elas se depositem nos primeiros metros.

Vale ressaltar que nem sempre locais próximos à beira mar possuem maior concentração de cloretos, a forma como o mar se comporta influencia no teor de íons cloretos na atmosfera. Segundo Alves (2007), a concentração em um ponto de coleta situado na praia de Ponta Verde, em Macéio/AL, foi menor pelo fato da existência de recifes de areia submersos no oceano, cujas ondas

estão além de 100m distantes da orla, apresentando um mar com águas calmas ao longo da costa.

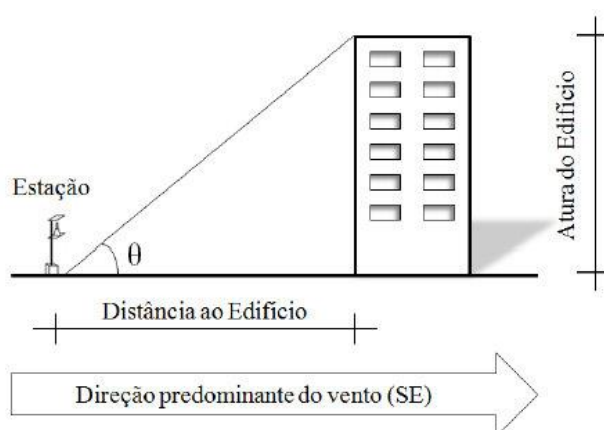
2.5.7 Presença de obstáculos verticais

Por fim, outro fator que também influencia na concentração de cloreto em estruturas de concreto armado é a presença de obstáculos verticais, obtendo como maior exemplo, os edifícios, que formam uma barreira impedindo que partículas salinas presentes no vento adentrem a superfície.

Um estudo realizado por Albuquerque (2016) através da atualização do mapa de agressividade de Salvador/BA proposto por Vilasboas (2016), confirmou a influência que as estruturas existentes no entorno apresentam na concentração de cloreto, a partir de uma nova variável θ (equação 9 e figura 23). A partir dessa variável, constatou-se que no mapa de Vilasboas (2016) a extensão de forte agressividade ambiental identificada pelo autor na região costeira se estendia a uma distância igual ou inferior a 400 metros da orla marítima, enquanto que na atualização com a nova variável foram identificados bairros com forte agressividade ambiental até o limite de 360 metros.

$$\theta = \arctan\left(\frac{\text{altura}}{\text{distância}}\right) \quad (\text{Eq. 09})$$

Figura 23 - Representação esquemática da nova variável, θ



FONTE: (ALBUQUERQUE, 2016)

A taxa de cloretos a partir da equação 9, é calculada através da fórmula:

$$Tx_{Cl} = 3500. \left[1 - e^{-\left(\frac{0,1}{x+1,0.10^{-4}}\right)^{3,17}} \right] \cdot (0,32 + 4,93.\theta) + 65$$

(Eq. 10)

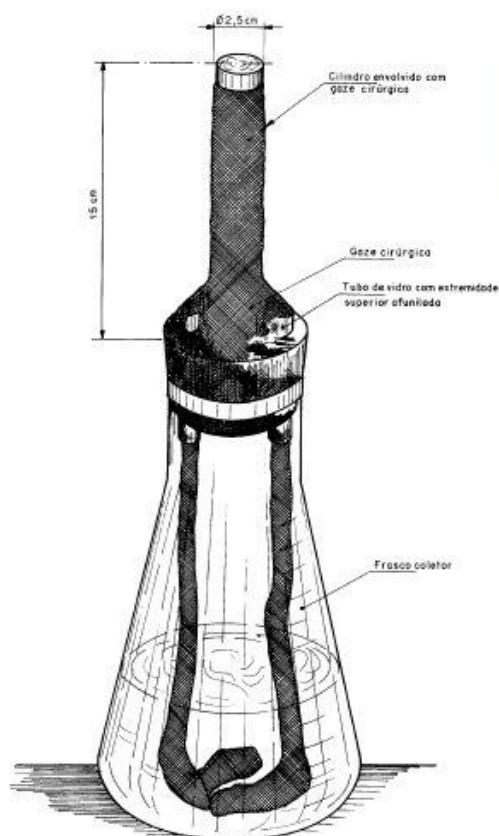
Porém, essa equação que relaciona taxa de cloretos com altitude dos obstáculos, somente é válida para a cidade de Salvador/BA, pois foi equacionada a partir das características climatológicas da região em estudo. Para verificar a influência em outras cidades, uma nova equação deve ser equacionada de acordo com as características da região.

3 METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ÍONS CLORETOS NO AR ATMOSFÉRICO

3.1 MÉTODO DE COLETA

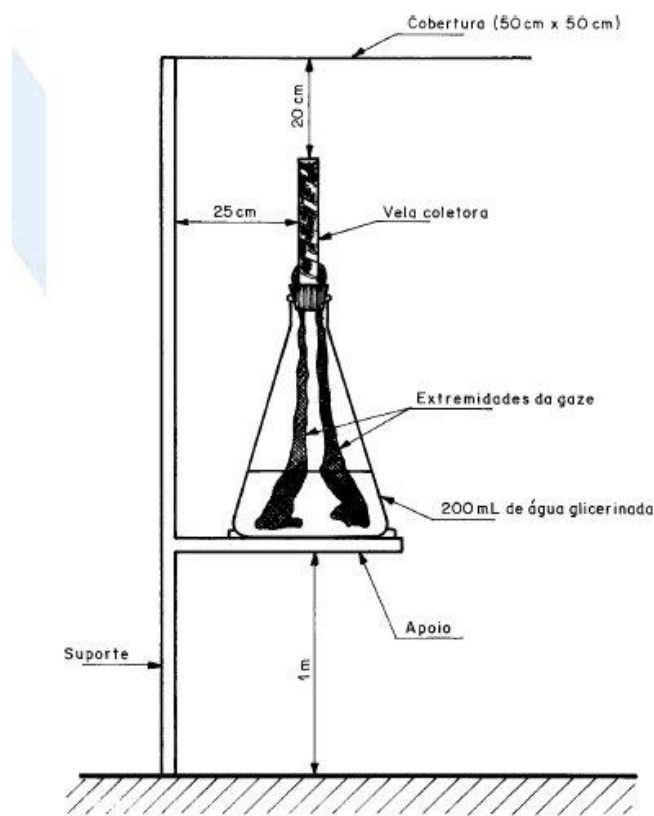
A determinação do teor de cloreto é fundamentada pela ABNT NBR 6211:2001 que se baseia na norma americana ASTM D 512-89:1999. A medição é realizada através de um equipamento chamado “vela úmida”. Esse equipamento consiste em um Erlenmeyer com água, ao qual é introduzido um tubo de ensaio enrolado com uma gaze. Por ascensão capilar, a gaze fica úmida e consegue capturar os íons presentes no ar que entram em contato com ela. O mecanismo de difusão permite que estes íons se movam para o interior da solução presente no frasco coletor. (SILVA, 2011)

As gazes cirúrgicas são envolvidas em um cilindro e fixado ao frasco coletor por meio de uma rolha (figura 24). O cilindro é constituído de material inerte como vidro ou polietileno, de aproximadamente 2,5 cm de diâmetro, sobre o qual é enrolada uma camada dupla de gaze cirúrgica. A área da superfície da gaze exposta à atmosfera deve ser de aproximadamente 100 cm² e cuidadosamente determinada e expressa em metros quadrados (S). O cilindro é introduzido numa rolha de borracha, ficando com uma altura de cerca de 15 cm acima desta. A rolha tem dois tubos de vidro localizados o mais próximo possível do cilindro, pelos quais passam as extremidades da gaze, que devem atingir o fundo do frasco. Estes tubos devem ter formato adequado para que o líquido que desce pela gaze seja drenado, sem perda, para o frasco coletor. O frasco coletor deve ser de vidro, polietileno ou outro material inerte, com aproximadamente 800 mL de capacidade. A vela úmida deve ser instalada num suporte adequado, a uma altura mínima de 1 m acima do nível do solo e em posição mais alta que todos os obstáculos situados num raio de 3 m. O equipamento deve ser protegido por meio de uma cobertura de material inerte e opaco de no mínimo 50 cm x 50 cm. A vela deve ser colocada numa posição central e a uma distância de 20 cm do topo da cobertura, conforme a figura 25.

Figura 24 - Vela úmida

Fonte: (ABNT NBR 6211:2001)

Figura 25 - Equipamento de suporte da vela úmida



Fonte: (ABNT NBR 6211:2001)

A vela úmida desta pesquisa (figura 26 e 27) teve seu material de suporte em madeira, o material da cobertura foi de alumínio, o frasco coletor de vidro do tipo Erlenmeyer de boca larga com capacidade de 1.000mL, a vela coletora constituída de um tubo de ensaio de vidro com diâmetro de 2,5cm, os tubos que drenam as gases para o interior do frasco coletor são tubos de ensaio de vidro de diâmetro 1,5cm, sendo que como as extremidades destes tubos eram fechadas, se fez necessário realizar o corte da mesma em vidraçaria para realizar a passagem das gases pelos tubos. A vedação do frasco de Erlenmeyer foi realizada com tampão de PVC, utilizado em instalações de esgoto, de encaixe perfeito ao frasco, mas por segurança utilizou-se também fita adesiva para vedar o tampão e o frasco. Todos os tubos de ensaio foram fixados no tampão com um tipo de massa epóxi, a escolha desse tipo de cola foi por possuir característica como, a prova de água e resistência a altas temperaturas, já que o equipamento ficou exposto as condições climáticas do ambiente. Vale ressaltar que o equipamento foi confeccionado conforme todas as medidas recomendadas pela ABNT NBR 6211:2001.

Figura 26 - Suporte da vela úmida



FONTE: (AUTOR, 2017)

Figura 27 - Materiais utilizados na vela úmida



FONTE: (AUTOR, 2017)

As gazes cirúrgicas envolvidas no cilindro possuíam dupla camada, conforme determinação da ABNT NBR 6211:2001, e comprimento de 1,30m, adotado como padrão pelo autor. Segundo a Norma, a “vela úmida” deve ser preparada utilizando luvas de PVC e em ambiente isento de contaminantes. Deve-se também tomar cuidado para que o material utilizado não contamine a solução com cloretos ou com interferentes.

A fixação do frasco no equipamento de sustentação foi realizada com arames galvanizados, que foram hasteados no frasco, por meio de uma borracha, e no equipamento através de 4 furos, conforme a figura 28. Apesar de serem galvanizados, nos pontos de coleta à beira mar os arames apresentaram sinais de corrosão, para não influenciar nos resultados da pesquisa, foi providenciada a troca.

Figura 28 - Fixação do frasco coletor no equipamento de sustentação



FONTE: (AUTOR, 2017)

Para coletar os íons cloretos do ar atmosférico, o frasco coletor deve conter no mínimo 200mL de água glicerizada, que segundo a ABNT NBR 6211:2001, é preparada a partir de 1000 mL de água contendo 200 mL de glicerol – $\text{CHOH}(\text{CH}_2\text{OH})_2$ diluídos com 20 gotas de ácido octanóico ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$). Esse ácido é utilizado como fungicida, enquanto que o glicerol tem a

função de diminuir a evaporação da água. Em vista disso, a Norma sugere que o volume de água glicerinada deve ser aumentado em locais onde, devido às condições ambientais, possa haver diminuição significativa de volume durante o tempo de exposição. Vale ressaltar que qualquer referência à água deve ser entendida como água destilada ou desmineralizada, isenta de cloretos. O preparo da solução de água glicerinada foi realizado no Laboratório de Química do IFS, com os reagentes do tipo P.A (padrão analítico) de mesma marca (NEON) para prevalecer a igualmente de características dos mesmo em toda pesquisa.

Uma vela adicional foi preparada e guardada em armário isento de cloretos para realização do ensaio em branco, que serve de referência para os demais ensaios, e dez foram expostas em campo num mesmo dia para que todos os experimentos estivessem sob as mesmas condições climáticas durante o período de exposição.

A ABNT NBR 6211:2001 recomenda o tempo de exposição de 30 dias, no presente trabalho foi considerado um tempo de 30 ± 3 dias, pelo fato de algumas coletas coincidirem com finais de semana, o que se tornou inviável, visto que alguns locais, só funcionam em horário comercial.

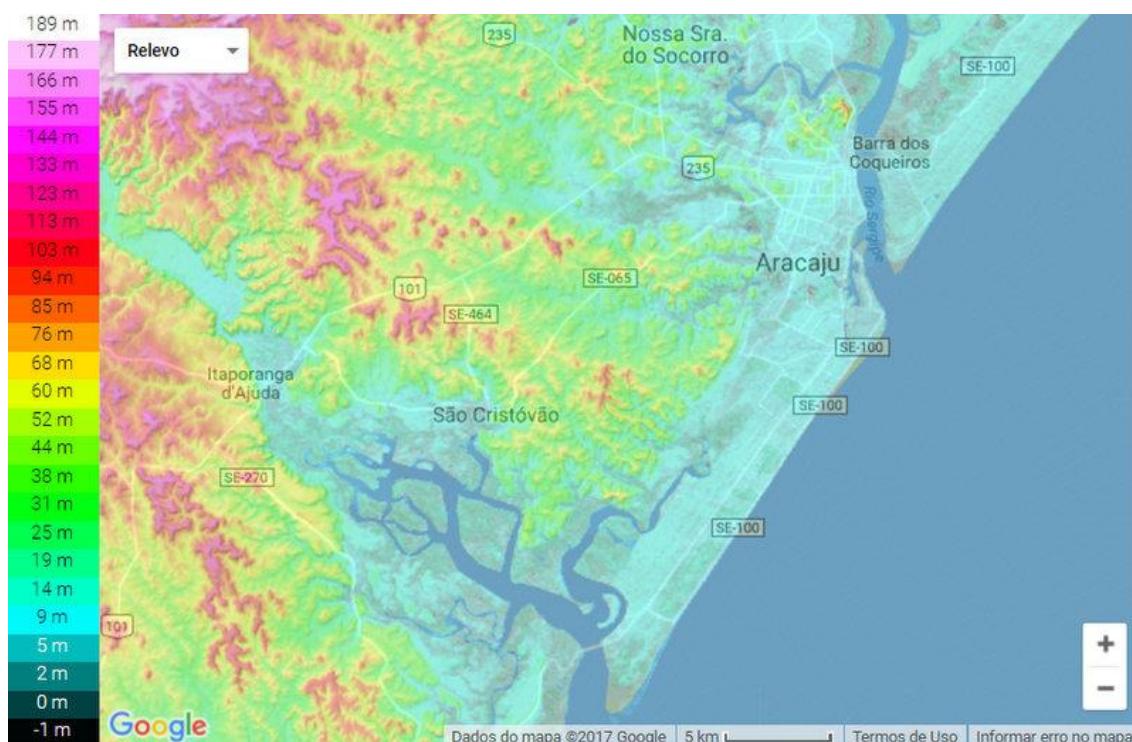
Durante o período de exposição houve a necessidade de se efetuar uma ronda nos locais para constatar que o equipamento estava intacto, pois durante o período de realização da pesquisa, fortes chuvas e ventos ocorreram na região em estudo, o que resultou em um dano ao equipamento de uma estação próxima ao mar, devido a esse fato, não se obteve resultado do teor de cloretos desse local no primeiro mês de coleta.

3.2 LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE INSTALAÇÃO

A pesquisa foi desenvolvida na região de Aracaju/SE, em bairros que predominam o crescimento urbano. Essa região apresenta uma temperatura anual em torno de $25,6^{\circ}\text{C}$, sendo que durante o ano a temperatura média varia $2,8^{\circ}\text{C}$, o mês mais quente é março, enquanto que o mais frio é julho. A pluviosidade média anual é em torno de 1.490mm, sendo dezembro o mês mais seco e maio o mês com maior registro de precipitação. (CLIMATE, 2017)

O relevo predominante da região é planície litorânea (figura 29), sua faixa litorânea apresenta 35km de extensão, onde estão localizadas as praias de Atalaia, Aruanda, Robalo, Naufragos e Refúgio ou Mosqueiro. Essa região apresenta em sua hidrografia o rio Sergipe, que deságua no Oceano Atlântico entre os municípios de Aracaju e Barra dos Coqueiros.

Figura 29 - Mapa do relevo de Aracaju



FONTE: (MAP, 2017)

A pesquisa foi realizada no período de 10 de março a 12 de julho do presente ano, sendo o primeiro mês de coleta de 10/03 a 10/04, o segundo 10/04 a 12/05 e o terceiro 12/05 a 12/06. Os critérios para instalação dos pontos foram de acordo com pesquisas realizadas em outros estados, pois não haviam registros desse tipo de pesquisa na região de Aracaju. Os critérios foram: instalação próximo a faixa litorânea, locação mais adentro do município para analisar a deposição de cloretos em relação a distância ao mar, próximo a locais que possuem concentração de obstáculos verticais (prédios) e instalações em alturas variadas para verificar a influência do parâmetro altitude.

Na tabela 17 são apresentadas informações quanto as estações, as coordenadas em graus referentes ao eixo sul e oeste das estações, distâncias ao mar e as altitudes. Essas informações foram obtidas no *Google Earth*,

aplicativo de mapas em três dimensões da Google Inc. que é uma empresa multinacional de serviços online e software dos Estados Unidos. Vale ressaltar que as estações instaladas em coberturas de edificações tiveram como cota resultante o somatório do nível do terreno mais a altura da edificação.

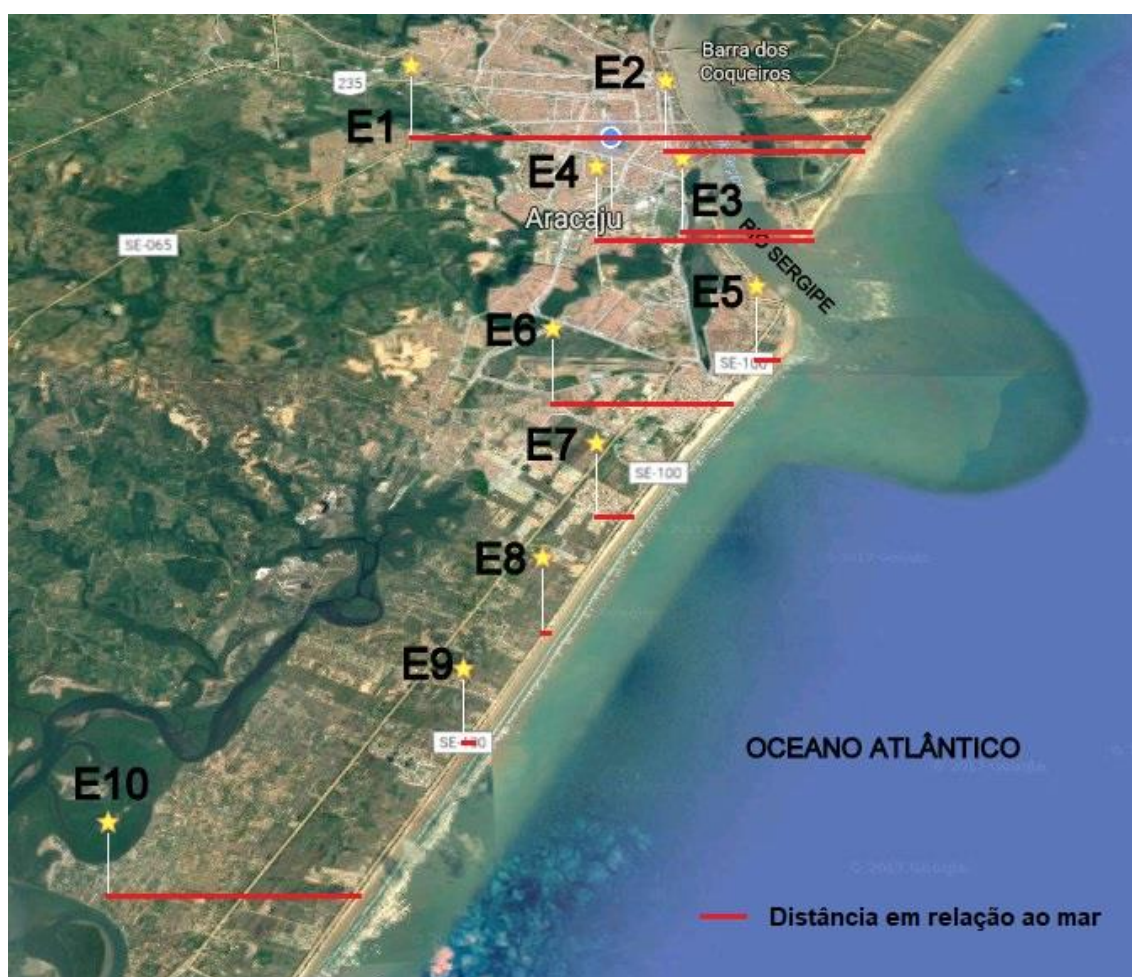
Tabela 17 - Informações sobre os locais de instalação das estações

Estação	Bairro	Coordenadas		Local de instalação	Altitude (m)	Distância em relação ao mar (m)
		S	W			
E1	Rosa Elze	10°55'25.60"	37°06'14.51"	UFS	13,40	10.434,09
E2	Salgado Filho	10°55'41.76"	37°03'10.56"	Propriedade privada	8,95	4.391,00
E3	Jardins	10°57'01.17"	37°03'07.60"	EMBRAPA	4,00	2.659,33
E4	Inácio Barbosa	10°57'08.49"	37°04'08.94"	Propriedade privada	8,75	4.317,33
E5	Atalaia	10°58'57.93"	37°02'33.74"	Kartódromo	5,00	448,29
E6	Aeroporto	10°59'34.60"	37°04'50.13"	Propriedade privada	11,90	3.452,94
E7	Aruanda	11°01'04.62"	37°04'29.98"	Propriedade privada	7,00	698,39
E8	Mosqueiro	11°02'25.98"	37°05'08.00"	Propriedade privada	6,00	111,02
E9	Mosqueiro	11°03'37.59"	37°05'57.51"	Propriedade privada	9,40	116,19
E10	Mosqueiro	11°05'06.78"	37°09'07.59"	Propriedade privada	10,00	4.034,64

FONTE: (AUTOR, 2017)

A figura 30 retrata, de forma esquemática, a localização dos equipamentos instalados contendo a vela úmida, como também a distância ao mar considerada em cada estação.

Figura 30 - - Mapa em 3D da localização das estações



FONTE: (AUTOR, 2017)

As informações quanto aos parâmetros climáticos, como velocidade, rajada e direção do vento, precipitação pluviométrica e umidade, durante o período da pesquisa, foram obtidas pelo site do INMET, através da estação **Aracaju-A409** localizada no bairro Jardins, conforme demonstra a figura 31.

Figura 31 - Localização da estação meteorológica Aracaju-A409



FONTE: (AUTOR, 2017)

A título de conhecimento, as figuras 32 a 35, são fotos das estações instaladas na cobertura das edificações, já as figuras 36 e 37 representam estações instaladas no solo.

Figura 32 - Estação 01 (UFS)



FONTE: (AUTOR, 2017)

Figura 33 - Vista da Estação 01 (UFS)



FONTE: (AUTOR, 2017)

Figura 34 - Estação E9



FONTE: (AUTOR, 2017)

Figura 35 - Vista da Estação E9



FONTE: (AUTOR, 2017)

Figura 36 - Estação E5



FONTE: (AUTOR, 2017)

Figura 37 - Estação E8



FONTE: (AUTOR, 2017)

3.3 PROCEDIMENTO DE COLETA

Após o período de exposição, as velas úmidas e os líquidos do frasco coletor foram coletados para análise em laboratório.

Os materiais utilizados na coleta foram:

- 1 – Piseta contendo água destilada para lavagem dos frascos;
- 2 – Luva de PVC para evitar contaminação no manuseio da vela;
- 3 – Vasos plásticos identificados e lavados com água destilada para armazenar a solução do frasco coletor, as águas de lavagens e a água das gazes;
- 4 – Vela úmida lacrada;
- 5 – Água glicerizada;
- 6 – Arame galvanizado para substituir, caso os arames apresentassem sinais de corrosão;
- 7 – Fita adesiva para vedar o tampão e o frasco coletor;
- 8 – Tesoura para auxiliar no corte da fita adesiva;
- 9 – Borracha para trocar, quando necessário;
- 10 – Proveta graduada para medição da nova água glicerizada a ser disposta no frasco coletor;
- 11 – Água destilada para lavagem dos frascos;
- 12 – Isopor, para armazenar os vasos plástico com as amostras;
- 13 – Gelo gel, para manter a temperatura no isopor.

Figura 38 - Piseta



FONTE: (AUTOR, 2017)

Figura 39 - Materiais utilizados na coleta



FONTE: (AUTOR, 2017)

Figura 40 - Isopor

FONTE: (AUTOR, 2017)

Figura 41 - Gelo gel

FONTE: (AUTOR, 2017)

Com o intuito de facilitar o entendimento da coleta, os vasos foram identificados conforme o seguinte código:

VF = Vaso plástico referente ao armazenamento da solução do frasco coletor;

VL = Vaso plástico referente ao armazenamento das águas de lavagens;

VG = Vaso plástico referente ao armazenamento da água das gazes.

O procedimento de coleta iniciou-se com o auxílio da luva de PVC para remoção da vela úmida do frasco coletor (figura 42) e substituição por uma nova que estava lacrada e identificada no saco plástico. O líquido que ficou exposto

durante 30 ± 3 dias no frasco coletor foi armazenado no VF. Com o auxílio da piseta, foram realizadas 3 lavagens com água destilada no frasco, todo líquido da lavagem foi armazenado no VL. Após as lavagens, com o auxílio da proveta mediu-se a quantidade necessária de água glicerinada a ser exposta por mais 30 dias no frasco coletor. Por fim, a nova vela úmida foi vedada ao frasco coletor com fita adesiva. Caso os arames apresentassem sinais de corrosão, ou borracha desgastada, a sua substituição seria realizada.

Figura 42 - Procedimento de retirada da vela úmida do frasco coletor



FONTE: (AUTOR, 2017)

Os vasos plásticos eram armazenados no isopor (figura 43) durante o transporte da coleta. Para os manter em uma temperatura ideal, o isopor continha cápsulas armazenadas com gelo gel que auxiliava na temperatura interna do isopor.

Figura 43 - Armazenamento dos vasos plásticos



FONTE: (AUTOR, 2017)

Após o término da coleta, as gazes eram desenroladas do cilindro com o auxílio da luva de PVC e armazenadas no VG contendo 200ml de água destilada, conforme recomenda a ABNT NBR 6211:2001. As gazes ficavam 24hrs de molho, sofrendo agitações no vaso de forma periódica, para que os íons cloretos retidos nas gazes diluíssem na água.

Após 24hrs, as gazes eram torcidas e espremidas, sendo molhadas com uma piseta contendo água destilada (figura 44 e 45) até o fim do processo de lavagem, para retirar os íons cloretos que ainda estavam retidos nas gazes.

Figura 44 - A gaze sendo molhada com água destilada com o auxílio de uma piseta



FONTE: (AUTOR, 2017)

Figura 45 - A gaze sendo espremida para retirar os íons cloretos



FONTE: (AUTOR, 2017)

Após o término da lavagem, o líquido do VL era despejado no VG, após isso seguiam para análise, a amostra referente ao líquido do VF e a amostra

referente a junção dos líquidos do VL e VG, sendo assim cada estação possuía 2 amostras de análise.

A ABNT NBR 6211:2001 recomenda que os líquidos dos vasos devem ser misturados para dar origem a um volume total (V_t). Como o método de Mohr não é sensível a pequenas concentrações e devido a diluição dos 200ml de água destilada destinado a agitação das gases, na primeira coleta, muitas estações resultaram em valores negativos de concentração de cloreto, fato esse que não seria condizente com a realidade. Devido a isso, optou-se pela escolha de 2 amostras por estação, justificada pela perda do primeiro mês de coleta que apresentou valores negativos, e devido a isso foi desconsiderado na análise final.

3.4 MÉTODO DE ENSAIO

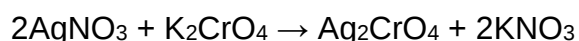
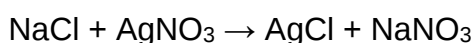
Segundo a ABNT NBR 6211:2001, o íon cloreto resultante da absorção em água contendo glicerol é titulado com solução diluída de nitrato de mercúrio na presença do indicador misto difenilcarbazona e azul-de-bromofenol. Porém, ao realizar a compra dos reagentes foi constatado que o nitrato de mercúrio é um reagente controlado pelo Exército, para sua aquisição seria necessário que o IFS solicitasse uma autorização de compra para o Exército, procedimento que em vias de regra tornaria a pesquisa inviável, já que a resposta ao pedido de autorização poderia demorar meses para ser enviada, assim como o processo licitatório necessário para a compra do reagente.

Com isso, após pesquisas em trabalhos com a mesma finalidade deste, como o realizado em Salvador/BA por José Marcílio e em Macéio/AL por Amara Midiã, foi constatado que o método utilizado para determinar o teor de cloretos solúveis em água foi o método volumétrico de Mohr. Como o pedido dos reagentes desse método iria demandar tempo, diante dos imprevistos, para cumprir o prazo da pesquisa, os ensaios realizados no presente trabalho foram executados no ITPS, vale ressaltar que a coordenadora do laboratório de águas permitiu que o autor do presente artigo participasse de todas etapas das análises.

No método de Mohr a padronização é feita utilizando-se o nitrato de prata (AgNO_3) com solução padrão de cloreto de sódio (NaCl), como indicador tem-

se a solução de cromato de potássio (K_2CrO_4). A titulação é identificada quando todos os íons de Ag^+ tiverem se depositado sob a forma de $AgCl$, havendo a precipitação de cromato de prata (Ag_2CrO_4) visualizada numa coloração marrom-avermelhada. A lista dos reagentes utilizados nesse método se encontra no anexo A.

As reações químicas ocorridas durante o processo de titulação das amostras são as seguintes:



O ensaio baseia-se inicialmente em separar 100ml das amostras para a verificação do seu pH, que deve estar entre 7 e 10. Para isso, utiliza-se o papel indicador de pH, caso o pH fosse diferente do intervalo recomendado, adicionava-se lentamente a solução de hidróxido de sódio ($NaOH$) para elevá-lo ou a solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4) para diminuí-lo. Vale ressaltar que, muitas das amostras necessitaram de ajuste no pH para que fossem tituladas.

Com o intuito de prever o quanto da solução padrão de nitrato de prata seria gasto na titulação da amostra, e conseqüentemente diminuir o gasto demasiadamente, realizou-se um teste qualitativo em todas as amostras para verificar a formação do precipitado, colocando-se em um tubo o item de ensaio com 1mL do nitrato de prata 0,0141M, caso a amostra apresentasse pouca turbidez a concentração de cloretos estava baixa, do contrário, a concentração de cloreto estava alta e o volume da alíquota deveria ser diluído.

Porém, ao realizar o teste qualitativo algumas amostras em vez de apresentarem a turbidez (figura 46) na presença de nitrato de prata 0,0141M, apresentaram coloração marrom claro ao escuro (figura 47), tornando inviável a execução do ensaio pelo método de Mohr, visto que seria impossível na presença do indicador de cromato de potássio, ao adicionar-se o nitrato de prata visualizar o ponto final de viragem com o aparecimento da coloração amarelo-avermelhado. Como o ensaio foi realizado junto ao ITPS, por conhecimento prévio dos químicos do laboratório que lidam diariamente com esse tipo de método, a coloração apresentada no teste qualitativo pode ter sido ocasionada

por alguma substância adquirida em virtude da exposição no ambiente, que ao reagir com o nitrato de prata deu origem a coloração marrom claro ao escuro.

Figura 46 - Turbidez da amostra no teste qualitativo



FONTE: (AUTOR, 2017)

Figura 47 - Teste qualitativo em algumas amostras



FONTE: (AUTOR, 2017)

Sendo assim, optou-se por utilizar a cromatografia iônica, através do cromatógrafo de íons (figura 48), que é um método físico-químico eficaz e preciso, utilizado na separação e determinação de íons através de colunas

cromatográficas analíticas (cátions e ânions), protegidas por uma coluna de guarda, detectados pela condutividade, com o objetivo de identificar esses componentes e quantificá-los.

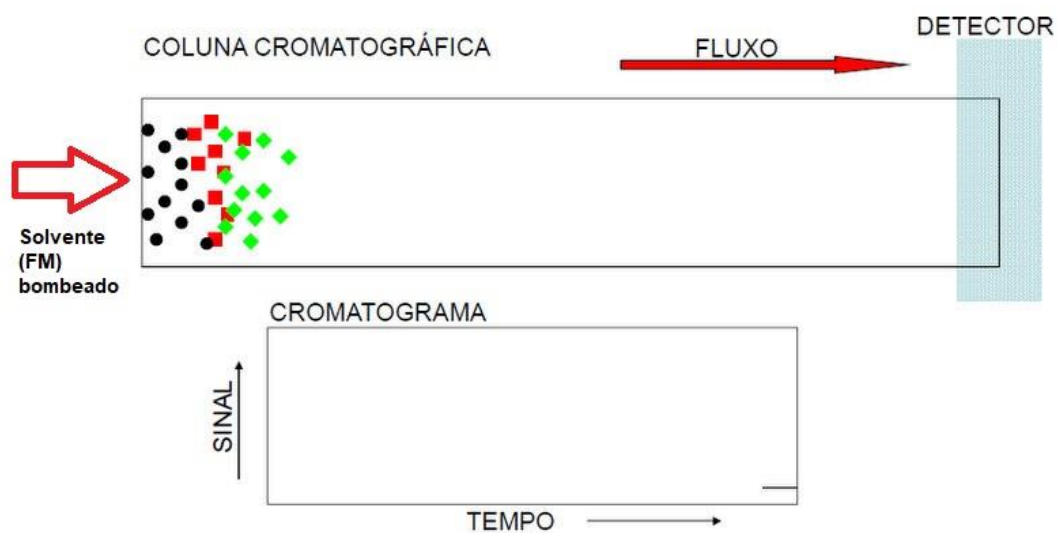
Figura 48 - Conjunto de equipamentos do cromatógrafo de íons



FONTE: (AUTOR, 2017)

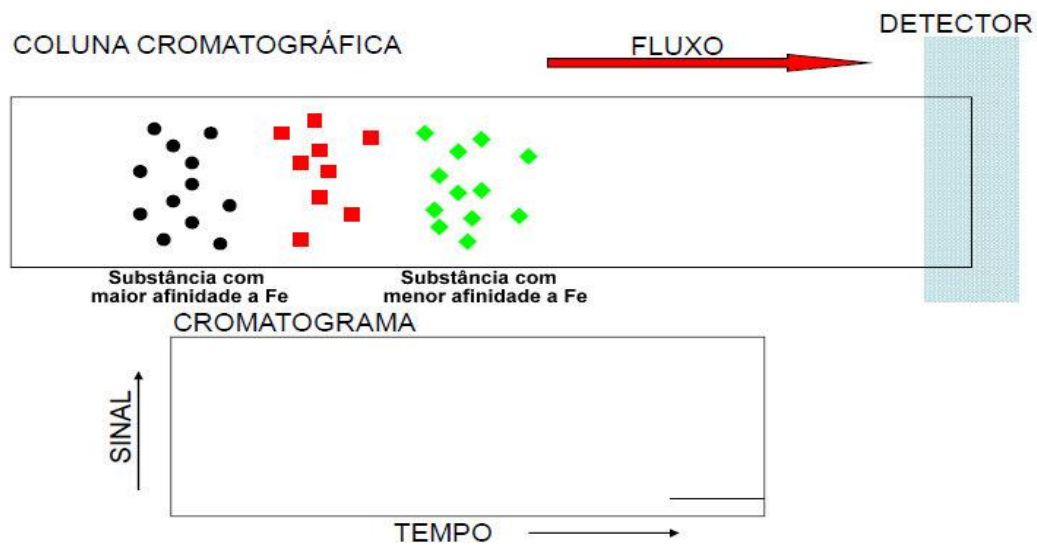
De acordo com Argenton (2010) tal separação dá-se através da migração da amostra ao longo de uma fase estacionária por intermédio de um fluido (fase móvel). De início a amostra a ser analisada é dissolvida em um solvente e introduzida na coluna cromatográfica preenchida com a fase estacionária (FE), a fase móvel (FM) consiste em um solvente sendo bombeado com vazão constante deslocando os componentes da amostra através da coluna cromatográfica. As substâncias com maior afinidade com a FE movem-se mais lentamente. Já as substâncias com pouca afinidade com a FE movem-se mais rapidamente. O detector, dispositivo conectado na saída da coluna ao perceber a presença dos componentes, emite um sinal elétrico que é registrado no cromatograma, na forma de pico, cuja área é proporcional a quantidade do componente analisado. As figuras 49 a 52 representam um esquema da formação do cromatograma, e a figura 53, retrata um exemplo do cromatograma.

Figura 49 - Esquema da formação do cromatograma



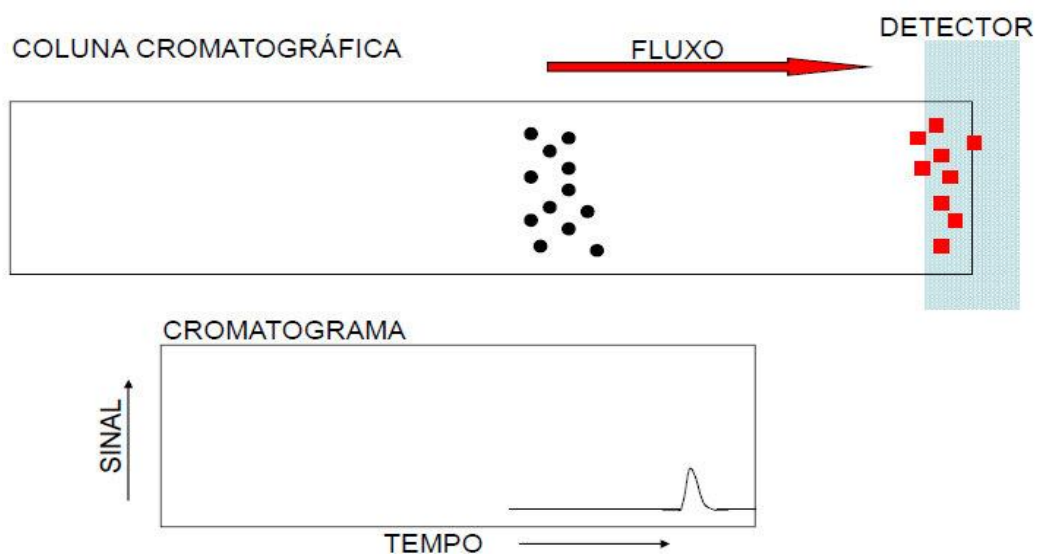
FONTE: (ARGENTON, 2010)

Figura 50 - Esquema da formação do cromatograma



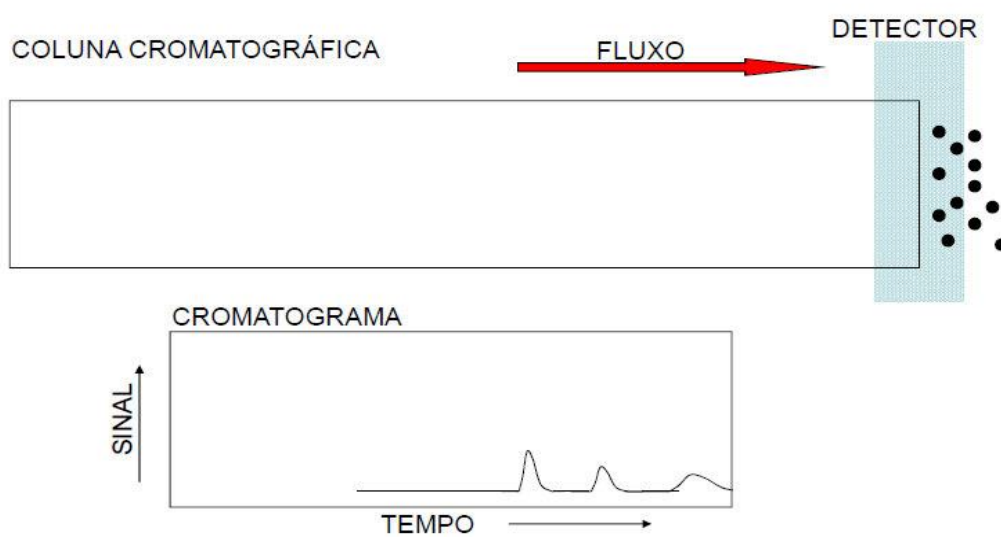
FONTE: (ARGENTON, 2010)

Figura 51 - Esquema da formação do cromatograma



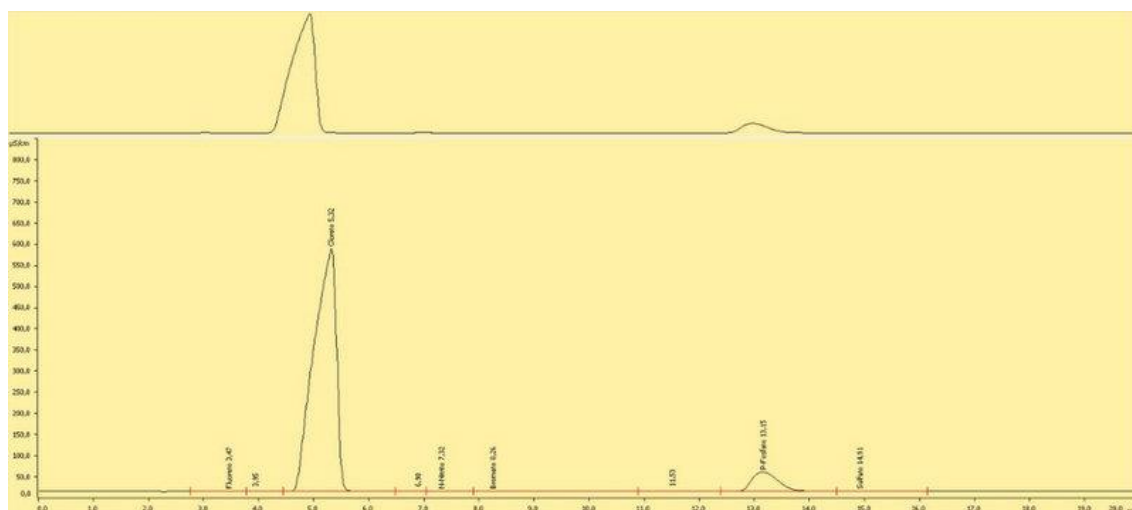
FONTE: (ARGENTON, 2010)

Figura 52 - Esquema da formação do cromatograma



FONTE: (ARGENTON, 2010)

Figura 53 - Exemplo de um cromatograma



FONTE: (AUTOR, 2017)

Para alcançar resultados precisos os componentes do ensaio devem possuir as principais características:

- Detector: alta sensibilidade, estabilidade, resposta rápida aos analitos, não contribuir para o alargamento do pico e confiabilidade.

- Fase móvel: vazão constante e alta pressão para impulsionar o reagente vencendo a resistência da fase estacionária.

Inclusive, o sucesso da separação cromatográfica só é possível se for aplicada uma FM correta a um FE conveniente. (ARGENTON, 2010)

De posse dos resultados, o teor de cloretos expresso no cromatógrafo é em mg/L, como a ABNT NBR 6211:2001 expressa em mg/(m².dia), a equação de transformação é dada por:

$$\text{Cloretos (mg/m}^2\text{.d)} = (\text{Cloreto (mg/L)} \cdot \text{VT}) / (\text{A} \cdot \text{t}) \quad (\text{Eq. 11})$$

Onde,

VT = volume total da amostra, em litros;

A = área de exposição (da gaze), em metros quadrados;

t = tempo de exposição, em dias.

A área de exposição da gaze é determinada pela expressão:

$$A \text{ (m}^2\text{)} = \pi.D.L \quad (\text{Eq. 12})$$

Onde,

D = diâmetro do tubo da vela úmida, em metro;

L = comprimento exposto do tubo, em metro.

Vale ressaltar, que as amostras com condutividades maior que mil miliSiemens (> 1.000mS) não podem ser analisadas pela cromatografia iônica. Sendo assim, todas as amostras antes de irem ao cromatógrafo passavam pelo condutímetro (figura 54), para medir a condutividade elétrica.

Figura 54 - Medição da condutividade elétrica das amostras no condutímetro



FONTE: (AUTOR, 2017)

Os resultados da pesquisa foram identificados de acordo com a seguinte simbologia:

Ax = amostra das águas de lavagens da estação “x”.

Fx = amostra do frasco coletor da estação “x”.

O “x” variava de 1 a 10, de acordo com o número da estação e o x = b era a amostra do ensaio em branco. Sendo assim, as condutividades elétricas das amostras nos três períodos da pesquisa são representadas na tabela 18.

Tabela 18 - Condutividade elétrica das amostras durante o período da pesquisa

Identificação	Condutividade elétrica (mS/cm) – 10/03 a 10/04	Condutividade elétrica (mS/cm) – 10/04 a 10/05	Condutividade elétrica (mS/cm) – 10/05 a 12/06
A1	120,31	112,38	102,95
A2	141,35	114,16	153,55
A3	189,03	132,70	122,65
A4	128,37	94,65	74,43
A5	820,20	748,60	877,20
A6	127,70	105,85	110,36
A7	233,40	214,20	203,40
A8	- (a)	711,30	809,30
A9	330,80	425,70	342,60
A10	106,39	72,73	79,54
AB	90,13	63,93	149,97
F1	414,80	49,15	146,50
F2	350,10	102,98	189,98
F3	180,57	63,73	126,83
F4	235,70	64,08	81,52
F5	613,00	622,40	1.211,60
F6	239,00	65,47	97,13
F7	251,00	90,96	187,85
F8	- (a)	658,20	1.177,20
F9	469,10	464,40	838,50
F10	329,30	74,88	107,69
FB	185,42	49,86	55,03

(d) O equipamento foi encontrado danificado, impossibilitando a coleta das amostras.

FONTE: (AUTOR, 2017)

Como pode ser analisado na tabela 18, a condutividade elétrica da solução do frasco coletor das estações 5 e 8 foram acima do limite permitido de 1.000 mS/cm. Sendo assim, optou-se por utilizar o método de Mohr para

determinação do teor de cloreto para essas duas amostras. Nesse caso, ao executar o teste qualitativo a amostra não apresentou a coloração marrom claro ao escuro, podendo com isso utilizar o referido método para quantificar o teor de cloretos.

A fórmula que determina o teor de cloretos pelo método de Mohr é expressa por:

$$\text{Cloretos (mg/l)} = ((V_a - V_b) \cdot N \cdot 35500) / (V_{am}) \quad (\text{Eq. 13})$$

Onde,

V_a = volume da solução padrão de nitrato de prata gasto na titulação da amostra, em mililitros;

V_b = volume da solução de nitrato de prata gasto na titulação da água destilada (branco), em mililitros;

M = molaridade da solução de nitrato de prata usada;

V_{am} = volume da amostra, em mililitros.

Assim como os resultados do ensaio da cromatografia iônica, por Mohr, o resultado também é expresso em mg/L, com isso utiliza-se a expressão de transformação de mg/L para mg/(m².dia), equação 11.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 RESULTADOS OBTIDOS

De posse dos resultados emitidos pelo ITPS, que se encontra no anexo B, e de acordo com a equação 11, as concentrações de cloreto são apresentadas nas tabelas 19 a 27.

Tabela 19 - Concentração de cloreto da solução do frasco coletor no período de 10/03 a 10/04

IDENTIFICAÇÃO	mg/L	Vt (L)	D (m)	L (m)	A (m²)	t (dias)	mg/m².dia
F1 – ROSA ELZE	2,624	0,202	0,025	0,15	0,012	27	1,666
F2 – SALGADO FILHO	1,424	0,208	0,025	0,15	0,012	30	0,838
F3 – JARDINS	2,238	0,254	0,025	0,15	0,012	30	1,608
F4 – INÁCIO BARBOSA	0,834	0,246	0,025	0,15	0,012	30	0,580
F5 – ATALAIA	187,800	0,282	0,025	0,15	0,012	30	149,849
F6 – AEROPORTO	3,547	0,242	0,025	0,15	0,012	27	2,699
F7 – ARUANA	1,101	0,257	0,025	0,15	0,012	30	0,801
F8 – MOSQUEIRO^(a)							
F9 – MOSQUEIRO	101,400	0,420	0,025	0,15	0,012	30	120,499
F10 – MOSQUEIRO	4,886	0,268	0,025	0,15	0,012	30	3,705
FB – VELA BRANCA	0,505	0,176	0,025	0,15	0,012	30	0,251

(d) O equipamento foi encontrado danificado, impossibilitando a coleta das amostras, com isso para tal mês, não houve resultado para a estação 8.

FONTE: (AUTOR, 2017)

Tabela 20 - Concentração de cloreto da solução das águas de lavagens no período de 10/03 a 10/04

IDENTIFICAÇÃO	mg/L	Vt (L)	D (m)	L (m)	A (m²)	t (dias)	mg/m².dia
A1 – ROSA ELZE	2,956	0,303	0,025	0,15	0,012	27	2,816
A2 – SALGADO FILHO	12,640	0,289	0,025	0,15	0,012	30	10,336
A3 – JARDINS	19,400	0,242	0,025	0,15	0,012	30	13,284
A4 – INÁCIO BARBOSA	4,796	0,314	0,025	0,15	0,012	30	4,261
A5 – ATALAIA	189,900	0,263	0,025	0,15	0,012	30	141,312
A6 – AEROPORTO	9,400	0,293	0,025	0,15	0,012	27	8,659
A7 – ARUANDA	32,730	0,264	0,025	0,15	0,012	30	24,448
A8 – MOSQUEIRO^(a)							
A9 – MOSQUEIRO	70,160	0,302	0,025	0,15	0,012	30	59,951
A10 – MOSQUEIRO	5,271	0,352	0,025	0,15	0,012	30	5,250

AB – VELA BRANCA	0,691	0,274	0,025	0,15	0,012	30	0,536
-------------------------	-------	-------	-------	------	-------	----	-------

FONTE: (AUTOR, 2017)

Tabela 21 - Resumo da concentração de cloreto no período de 10/03 a 10/04

IDENTIFICAÇÃO	mg/m ² .dia (Fx+Ax)	DESCONTO DA VELA BRANCA (Fx – Ex)	TOTAL (mg/m ² .dia)
E1 – ROSA ELZE	4,482	0,689	3,79
E2 – SALGADO FILHO	11,174	0,689	10,48
E3 – JARDINS	14,892	0,689	14,20
E4 – INÁCIO BARBOSA	4,841	0,689	4,15
E5 – ATALAIA	291,157	0,689	290,47
E6 – AEROPORTO	11,357	0,689	10,67
E7 – ARUANDA	25,249	0,689	24,56
E8 – MOSQUEIRO^(a)			
E9 – MOSQUEIRO	180,450	0,689	179,76
E10 – MOSQUEIRO	8,955	0,689	8,27

FONTE: (AUTOR, 2017)

Tabela 22 - Concentração de cloreto da solução do frasco coletor no período de 10/04 a 10/05

IDENTIFICAÇÃO	mg/L	Vt (L)	D (m)	L (m)	A (m ²)	t (dias)	mg/m ² .dia
F1 – ROSA ELZE	5,329	0,076	0,025	0,15	0,012	30	1,146
F2 – SALGADO FILHO	45,280	0,195	0,025	0,15	0,012	30	24,983
F3 – JARDINS	9,076	0,273	0,025	0,15	0,012	30	7,011
F4 – INÁCIO BARBOSA	8,033	0,220	0,025	0,15	0,012	30	5,000
F5 – ATALAIA	20,920	0,218	0,025	0,15	0,012	30	12,904
F6 – AEROPORTO	2,550	0,260	0,025	0,15	0,012	29	1,941
F7 – ARUANDA	4,764	0,200	0,025	0,15	0,012	30	2,696
F8 – MOSQUEIRO	228,900	0,400	0,025	0,15	0,012	29	267,995
F9 – MOSQUEIRO	240,100	0,405	0,025	0,15	0,012	30	275,134
F10 – MOSQUEIRO	8,722	0,268	0,025	0,15	0,012	30	6,614
FB – VELA BRANCA	1,825	0,180	0,025	0,15	0,012	30	0,929

^(b) Durante a coleta do material foi verificado que havia um acréscimo de 5ml de água no frasco coletor, proveniente das chuvas.

FONTE: (AUTOR, 2017)

Tabela 23 - Concentração de cloreto da solução das águas de lavagens no período de 10/04 a 10/05

IDENTIFICAÇÃO	mg/L	Vt (L)	D (m)	L (m)	A (m ²)	t (dias)	mg/m ² .dia
A1 – ROSA ELZE	1,563	0,294	0,025	0,15	0,012	30	1,300
A2 – SALGADO FILHO	0,094	0,315	0,025	0,15	0,012	30	0,084
A3 – JARDINS	0,068	0,310	0,025	0,15	0,012	30	0,060

A4 – INÁCIO BARBOSA	0,050	0,284	0,025	0,15	0,012	30	0,040
A5 – ATALAIA	193,700	0,281	0,025	0,15	0,012	30	154,005
A6 – AEROPORTO	0,050	0,325	0,025	0,15	0,012	29	0,048
A7 – ARUANDA	36,960	0,291	0,025	0,15	0,012	30	30,431
A8 – MOSQUEIRO	177,600	0,319	0,025	0,15	0,012	29	165,827
A9 – MOSQUEIRO	103,100	0,303	0,025	0,15	0,012	30	88,389
A10 – MOSQUEIRO	0,262	0,333	0,025	0,15	0,012	30	0,247
AB – VELA BRANCA	0,699	0,311	0,025	0,15	0,012	30	0,615

FONTE: (AUTOR, 2017)

Tabela 24 - Resumo da concentração de cloreto no período de 10/04 a 10/05

IDENTIFICAÇÃO	mg/m ² .dia (Fx+Ax)	DESCONTO DA VELA BRANCA (Fx – Ex)	TOTAL (mg/m ² .dia)
E1 – ROSA ELZE	2,446	1,545	0,90
E2 – SALGADO FILHO	25,066	1,545	23,52
E3 – JARDINS	7,070	1,545	5,53
E4 – INÁCIO BARBOSA	5,041	1,545	3,50
E5 – ATALAIA	166,908	1,545	165,36
E6 – AEROPORTO	1,988	1,545	0,44
E7 – ARUANDA	33,127	1,545	31,58
E8 – MOSQUEIRO	433,822	1,545	432,28
E9 – MOSQUEIRO	363,523	1,545	361,98
E10 – MOSQUEIRO	6,861	1,545	5,32

FONTE: (AUTOR, 2017)

Tabela 25 - Concentração de cloreto da solução do frasco coletor no período de 10/05 a 12/06

IDENTIFICAÇÃO	mg/L	Vt (L)	D (m)	L (m)	A (m ²)	t (dias)	mg/m ² .dia
F1 – ROSA ELZE	6,076	0,335	0,025	0,15	0,012	33	5,236
F2 – SALGADO FILHO	5,997	0,235	0,025	0,15	0,012	33	3,625
F3 – JARDINS	5,412	0,260	0,025	0,15	0,012	33	3,619
F4 – INÁCIO BARBOSA	6,124	0,235	0,025	0,15	0,012	33	3,702
F5 – ATALAIA	422,900	0,395	0,025	0,15	0,012	33	429,675
F6 – AEROPORTO	4,004	0,165	0,025	0,15	0,012	33	1,699
F7 – ARUANDA	3,864	0,190	0,025	0,15	0,012	33	1,888
F8 – MOSQUEIRO[©]	385,300	0,500	0,025	0,15	0,012	33	495,535
F9 – MOSQUEIRO^(d)	240,000	0,605	0,025	0,15	0,012	33	373,484
F10 – MOSQUEIRO	12,110	0,255	0,025	0,15	0,012	33	7,943
FB – VELA BRANCA	6,163	0,160	0,025	0,15	0,012	33	2,536

© Durante a coleta do material foi verificado que havia um acréscimo de 100 ml de água no frasco coletor, proveniente das chuvas.

^(d) Durante a coleta do material foi verificado que havia um acréscimo de 205ml de água no frasco coletor, proveniente das chuvas.

FONTE: (AUTOR, 2017)

Tabela 26 - Concentração de cloreto da solução das águas de lavagens no período de 10/05 a 12/06

IDENTIFICAÇÃO	mg/L	Vt (L)	D (m)	L (m)	A (m ²)	t (dias)	mg/m ² .dia
A1 – ROSA ELZE	11,080	0,290	0,025	0,15	0,012	33	8,265
A2 – SALGADO FILHO	8,695	0,240	0,025	0,15	0,012	33	5,368
A3 – JARDINS	15,470	0,285	0,025	0,15	0,012	33	11,341
A4 – INÁCIO BARBOSA	5,778	0,240	0,025	0,15	0,012	33	3,567
A5 – ATALAIA	199,400	0,310	0,025	0,15	0,012	33	158,998
A6 – AEROPORTO	13,240	0,245	0,025	0,15	0,012	33	8,344
A7 – ARUANDA	37,690	0,290	0,025	0,15	0,012	33	28,114
A8 – MOSQUEIRO	183,900	0,290	0,025	0,15	0,012	33	137,178
A9 – MOSQUEIRO	71,010	0,285	0,025	0,15	0,012	33	52,056
A10 – MOSQUEIRO	10,590	0,260	0,025	0,15	0,012	33	7,082
AB – VELA BRANCA	1,237	0,220	0,025	0,15	0,012	33	0,700

FONTE: (AUTOR, 2017)

Tabela 27 - Resumo da concentração de cloreto no período de 10/05 a 12/06

IDENTIFICAÇÃO	mg/m ² .dia (Fx+Ex)	DESCONTO DA VELA BRANCA	TOTAL mg/m ² .dia
E1 – ROSA ELZE	13,50	3,236	10,26
E2 – SALGADO FILHO	8,99	3,236	5,76
E3 – JARDINS	14,96	3,236	11,72
E4 – INÁCIO BARBOSA	7,27	3,236	4,03
E5 – ATALAIA	588,67	0,700	587,97
E6 – AEROPORTO	10,04	3,236	6,81
E7 – ARUANDA	30,00	3,236	26,77
E8 – MOSQUEIRO	632,71	0,700	632,01
E9 – MOSQUEIRO	425,54	3,236	422,30
E10 – MOSQUEIRO	15,03	3,236	11,79

FONTE: (AUTOR, 2017)

Como as equações referentes ao método da ABNT NBR 6211:2001 e o método de Mohr (equação 13), que determinam a concentração de cloreto, subtraem o valor correspondente a parcela do ensaio em branco, nos resultados expressos pelo método da cromatografia iônica, o valor final da concentração foi subtraído pela concentração de cloretos encontradas no ensaio em branco, para obter a equivalência entre os métodos.

Vale ressaltar que, as amostras do frasco coletor das estações E5 e E8, por apresentarem uma condutividade maior que 1.000mS, realizaram o ensaio de determinação de cloretos pelo método de Mohr. Sendo assim na concentração total de cloretos, as estações E5 e E8 só sofreram o desconto da vela das águas de lavagens, de 0,70 mg/m².dia. A tabela referente ao cálculo da concentração de cloretos em mg/L, pelo método de Mohr, se encontra no apêndice A.

4.2 CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA

As características climatológicas do ambiente estudado foram obtidas através do site do INMET. Através desse os parâmetros analisados foram: velocidade, rajada e direção do vento, temperatura, umidade e precipitação pluviométrica.

Como os resultados disponibilizados no INMET expressavam os dados por hora, o apêndice B apresenta os valores da média diária, enquanto que a tabela 28 expressa os valores médio mensal, exceto para o índice pluviométrico, durante o período de pesquisa.

Tabela 28 - Resumo das características climatológicas

Período	Temperatura	Umidade relativa	Precipitação	Velocidade do vento		Rajada do vento		Direção do vento
10/03 a 10/04	28,26 °C	64,38%	84,3 mm	2,57 m/s	9,25 km/h	5,06 m/s	18,23 km/h	95,37°
10/04 a 10/05	27,54 °C	66,54%	100,60 mm	2,46 m/s	8,86 km/h	4,53 m/s	16,32 km/h	111,59°
10/05 a 12/06	27,65 °C	70,94%	339,40 mm	2,36 m/s	8,50 km/h	4,79 m/s	17,26 km/h	112,51°

FONTE: (AUTOR, 2017)

Durante o período da pesquisa a temperatura variou muito pouco, somente 0,72°C, o leve aumento no primeiro mês pode ser explicado com a transição de estações que ocorreu entre 19 de março (fim do verão) e 20 de março (início do outono), variando as características do clima.

Assim como a temperatura, a umidade obteve uma variação pequena com um resultado esperado, pois no período de maior precipitação pluviométrica, a umidade relativa também foi maior. Considerando um índice de umidade variando de 65% a 71%, de acordo com a tabela 16, proposta por Helene (1993),

o grau de agressividade durante o período da pesquisa é 3, considerado de alto risco para a corrosão de armaduras em concretos contaminados por cloretos.

Assim como a umidade e temperatura, os parâmetros do vento como velocidade, rajada e direção também não atingiram uma variação expressiva. Analisando os dois primeiros índices, o valor da rajada duplicou quando comparado com a velocidade do vento, com isso, aquela torna-se a maior responsável pelo transporte das partículas salinas, pois elas alcançam maiores distâncias, e conseqüentemente, adentram mais na superfície terrestre. A direção do vento teve uma oscilação de somente 17,14° (de 112,51° a 95,37°), variando sua direção entre o leste e sudeste.

A precipitação pluviométrica foi o parâmetro climático que mais apresentou variação durante o estudo, o índice de chuvas comparando o primeiro e o último mês de coleta, quadruplicou. Em vista disso, a elevada precipitação promoveu a lavagem das fachadas dos prédios na região de estudo, o que para corrosão de armaduras desencadeadas por cloretos, é uma vantagem, pois elimina os íons cloretos que futuramente poderia desenvolver uma patologia na edificação.

4.3 CONCENTRAÇÃO DE CLORETOS

Os resultados do teor de íons cloretos na atmosfera urbana de Aracaju durante o período de 10 de março a 12 de junho, são apresentados em resumo, na tabela 29.

Tabela 29 - Resumo da concentração de íon cloreto no período da pesquisa

Concentração de cloretos em mg/m ² .dia						
Estação	Dist. em relação ao mar (m)	Altitude (m)	10/03 a 10/04	10/04 a 10/05	10/05 a 12/06	Média
E1 - ROSA ELZE	10.434,09	13,40	3,79	0,90	10,26	4,98
E2 - SALGADO FILHO	4.391,00	8,95	10,48	23,52	5,76	13,25
E3 - JARDINS	2.659,33	4,00	14,20	5,53	11,72	10,48
E4 - INÁCIO BARBOSA	4.317,33	8,75	4,15	3,50	4,03	3,89
E5 - ATALAIA	448,29	5,00	290,47	165,36	587,97	347,93
E6 - AEROPORTO	3.452,94	11,90	10,67	0,44	6,81	5,97

E7 - ARUANDA	698,39	7,00	24,56	31,58	26,77	26,64
E8 - MOSQUEIRO	111,02	6,00	-	432,28	632,01	532,15
E9 - MOSQUEIRO	116,19	9,40	179,76	361,98	422,30	321,35
E10 - MOSQUEIRO	4.034,64	10,00	8,27	5,32	11,79	8,46

FONTE: (AUTOR, 2017)

A seguir, as concentrações de cloretos mencionadas acima, serão relacionadas com os parâmetros que influenciam na concentração de cloretos.

4.4 COMPORTAMENTO DA DEPOSIÇÃO DE CLORETOS

4.4.1 Altitude

Como dito anteriormente na seção terciária 2.5.5, a altitude é influenciada pelo efeito da gravidade, partículas maiores de aerossol marinho contendo mais sais, por serem mais pesadas, não conseguem atingir grandes alturas e se depositam a poucos metros do mar. Essa influência é observada nas estações E8 e E9, situadas a poucos metros do mar e na mesma altitude de terreno de 6m, porém pelo fato da estação E9 estar instalada na cobertura da edificação, totalizando 9,40m de altitude, a concentração média dessa é em torno de 310 mg/m².dia, enquanto que a concentração média daquela é superior, e em torno de 532,07 mg/m².dia.

4.4.2 Presença de obstáculos

A influência da presença de obstáculos, como por exemplo as edificações, na concentração de cloreto, são verificadas nas estações E2 e E7.

A estação E2 foi instalada no bairro Salgado Filho, sendo esse localizado atrás do bairro Treze de Julho. Atualmente esse bairro exibe uma grande concentração de prédios, principalmente na avenida Beira Mar (figura 55 e 56), o que pode ter influenciado na baixa média da concentração de cloretos, de aproximadamente 13 mg/m².dia, apesar da estação estar situada a 8,95m, na cobertura da edificação (casa). Isso se deve ao fato do vento, responsável pelo transporte de partículas salinas, que ao adentrar pelo bairro Treze de Julho encontra barreiras (prédios), onde a maioria das partículas se depositam,

restando apenas uma pequena parcela do vento contendo sais, que consegue contornar essas barreiras e adentrar mais a superfície.

Figura 55 - Mapa em 3D da concentração de prédios no bairro Treze de Julho



FONTE: (AUTOR, 2017)

Figura 56 - Vista dos prédios da estação E2



FONTE: (AUTOR, 2017)

A estação E7 apesar de estar localizada em região de praia, a menos de 1km do mar, sofreu a influência do obstáculo vertical apresentado na figura 57, pois apresentou uma baixa média na concentração de cloreto, de aproximadamente 26 mg/m².dia. Isso pode ser confirmado, ao realizar uma comparação com a estação E5, que apresentou uma média de 347,84 mg/m².dia, sendo localizada a menos de 251 m da estação E7.

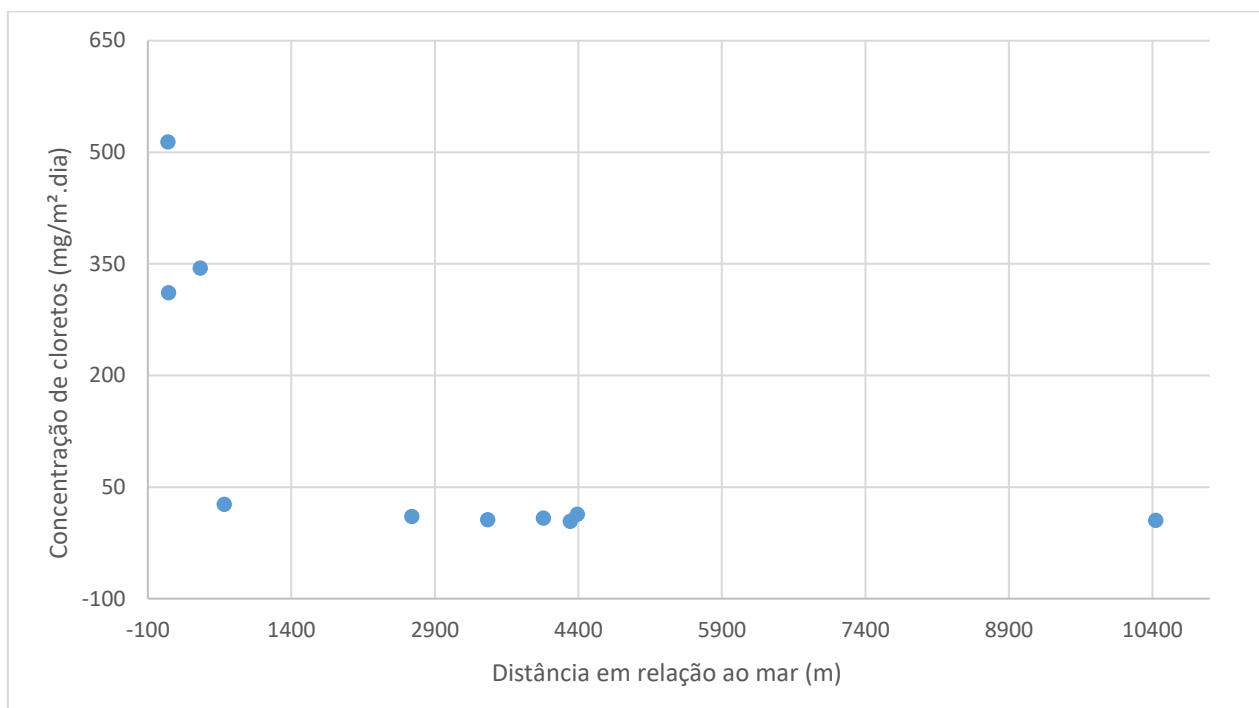
Figura 57 - Obstáculo vertical que influenciou a concentração da estação E7



FONTE: (AUTOR, 2017)

4.4.3 Distância em relação ao mar

No gráfico 13, é notória a influência da distância em relação ao mar na concentração de cloretos. Observa-se que os maiores índices de concentração se situam nos primeiros metros do mar, conforme cita Júnior (2011) na seção terciária 2.5.6. Fato esse que pode ser explicado pelo efeito gravimétrico, que deposita as maiores partículas nos primeiros metros do mar, por serem mais pesadas, possuindo com isso, maior quantidade de sal marinho.

Gráfico 13 - Influência da distância em relação ao mar na concentração de cloretos

FONTE: (AUTOR, 2017)

Além disso, no gráfico 13 observa-se que o vento é o principal meio de transporte do cloreto, pois mesmo com elevadas distâncias do mar, como o verificado na E10, cerca de 10km, existe uma concentração média de cloretos em torno de 4 mg/m².dia, confirmando que o cloreto produzido no oceano pode adentrar na superfície.

4.4.4 Precipitação pluviométrica

De acordo com a seção terciária 2.5.2, a precipitação pluviométrica promove uma lavagem nas fachadas dos prédios, o que seria benéfico para diminuir a concentração de cloretos e evitar uma possível corrosão no local. Porém, durante o terceiro mês de exposição da vela úmida, período compreendido de 10/05 a 12/06, no qual houve o maior índice de chuvas na região, houve um aumento do líquido no frasco coletor das estações E8 e E9, consequentemente, houve o aumento do valor de VT, analisando a equação 11, esse fator é proporcional a concentração de cloretos em mg/m².dia. Sendo assim, mesmo com o elevado índice de chuvas, houve o aumento da concentração de cloretos, esse fato pode ser explicado também pela superfície

exposta da vela úmida, como ela é formada por gases, ao contrário, do que ocorreria em uma fachada de prédios, na qual a água bate e escorre, as gases absorvem qualquer líquido que entre em contato com ela.

5 PERSPECTIVA DE VIDA ÚTIL

Com o intuito de prever a vida útil de edificações em concreto nos locais das estações de medição, foi utilizado o modelo proposto por Clear & Hay (1993 *apud* Helene, 1993) e citado por Alves (2007). Esse método calcula a vida útil de uma estrutura em anos, através das variáveis de fator água/cimento, cobrimento e concentração de cloreto, conforme a equação 14.

$$t = \frac{2,5 \cdot \sqrt[0,82]{e}}{a/c \cdot \sqrt[2,38]{C_{Cl} -}} \quad (\text{Eq. 14})$$

Onde:

t = tempo ou vida útil em anos;

e = espessura do cobrimento à armadura em mm;

a/c = fator água/cimento em massa;

C Cl⁻ = concentração de cloretos no ambiente em mg/L.

Os valores de concentração de cloreto considerado para cada estação, foi o valor mais agressivo, ou seja, o maior obtido nas três medições da pesquisa, pois quanto maior o teor de cloretos menor será a vida útil, sendo assim a tabela 30, apresenta os valores da concentração de cloreto, em mg/L com o desconto da vela branca, considerada em cada estação. Os cálculos referentes ao desconto se encontra no apêndice C.

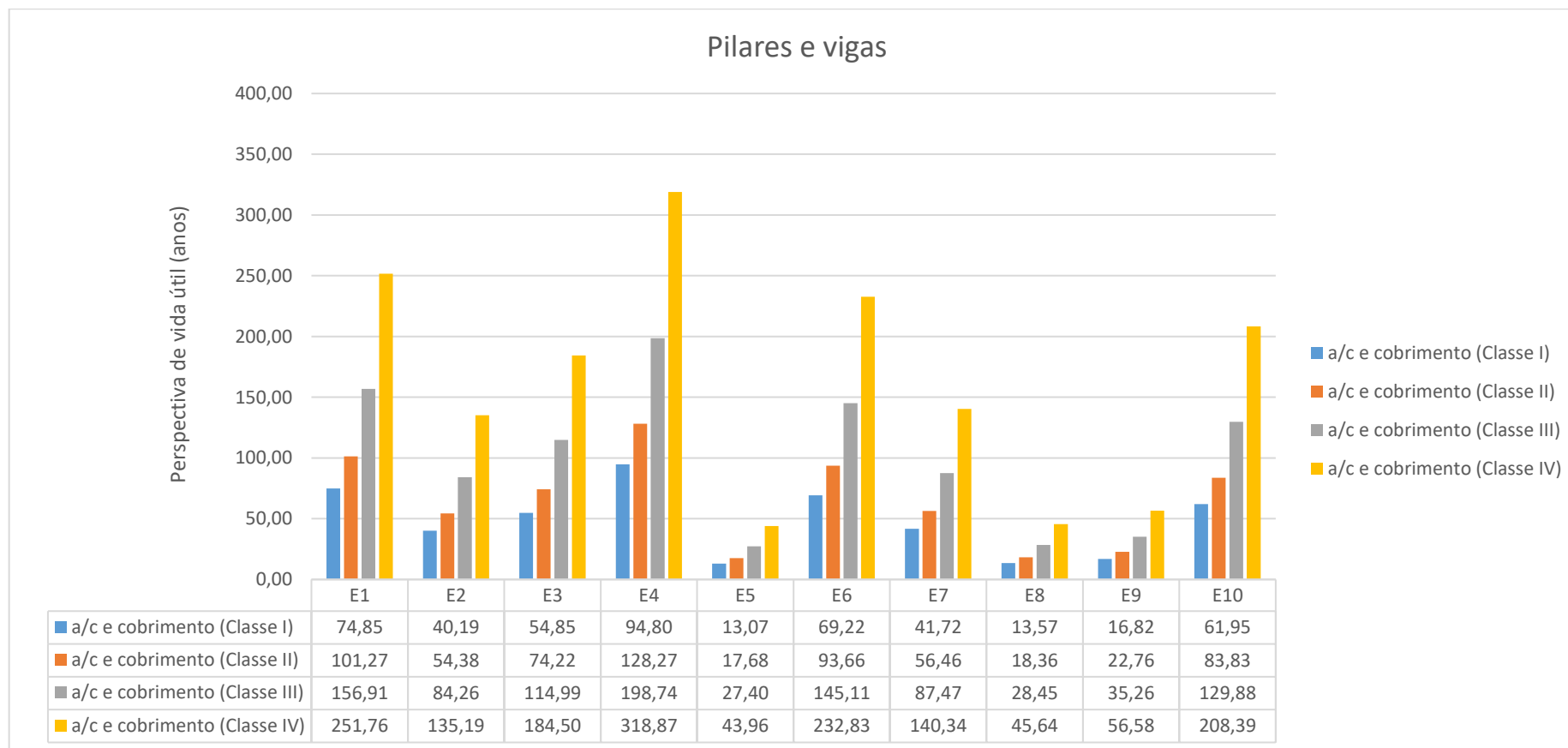
Tabela 30 - Valores mais agressivos da concentração de cloreto, em mg/L, das estações

Estação	Concentração em mg/L
E1 - UFS	9,756
E2 - SALGADO FILHO	42,85
E3 - JARDINS	20,442
E4 - INÁCIO BARBOSA	5,559
E5 - ATALAIA	621,063
E6 - AEROPORTO	11,751
E7 - ARUANDA	39,20
E8 - MOSQUEIRO	567,963
E9 - MOSQUEIRO	340,676
E10 - MOSQUEIRO	15,30

FONTE: (AUTOR, 2017)

A perspectiva de vida útil quanto ao ataque de cloreto, foi calculada para as quatro classes de agressividade ambiental, o fator a/c e cobrimento desse estudo, foram de acordo com a NBR 6118. No apêndice D consta as tabelas referente aos cálculos. O gráfico 14 apresenta a projeção da vida útil de pilares e vigas em concreto armado.

Gráfico 14 - Perspectiva de vida útil para pilares e vigas de concreto armado

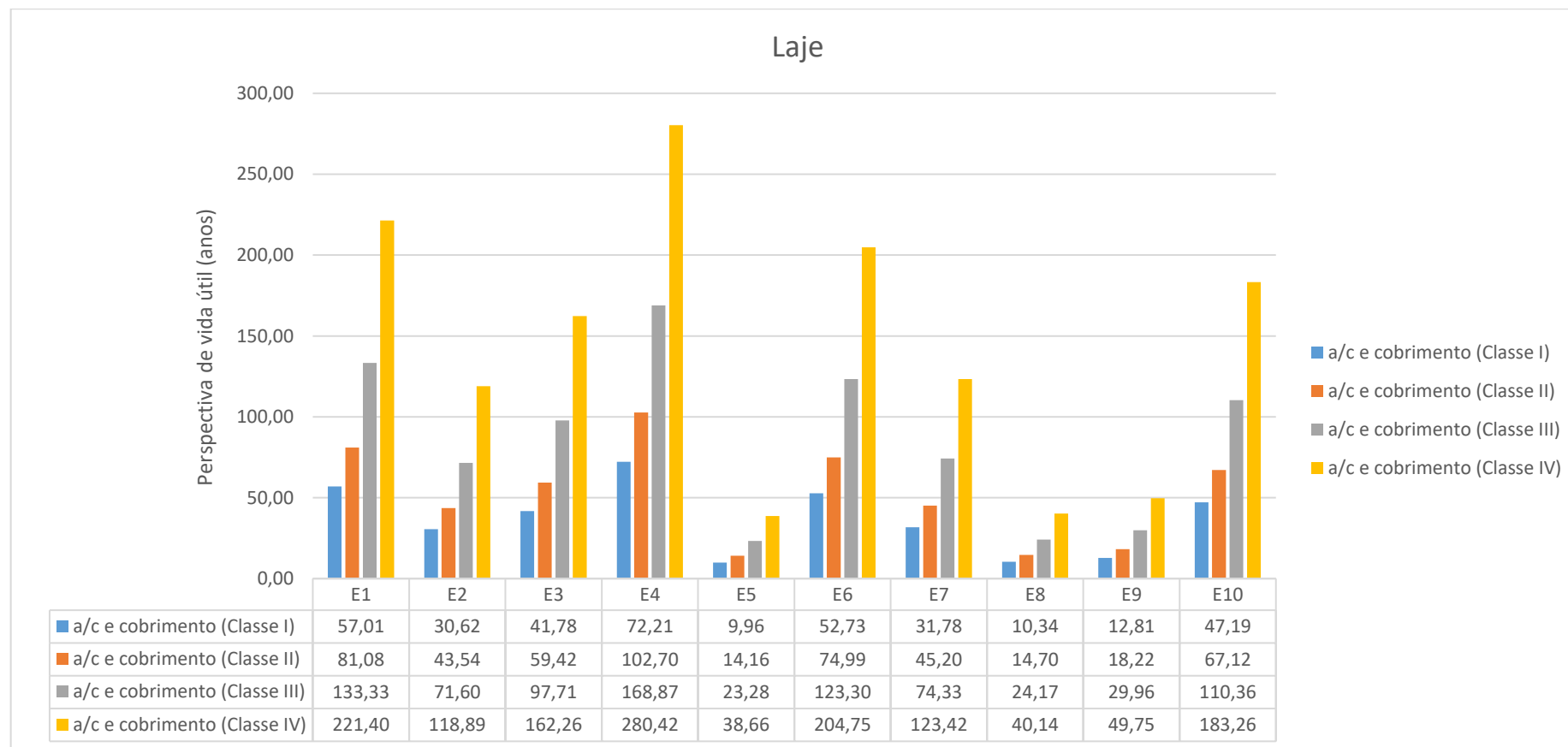


FONTE: (AUTOR, 2017)

Observa-se para pilares e vigas que, quanto maior a classe de agressividade ambiental considerada em projeto, maior será a vida útil da estrutura. Porém, mesmo considerando a maior classe de agressividade ambiental, previstas para as estações, E5 e E8, elas não atingem o valor de 50 anos determinado na ABNT NBR 15575:2013, para duração de estruturas. Em termos de porcentagens, analisando a estação que obteve o menor tempo de vida útil, a E5, caso o projetista considere um cobrimento baseado na classe de agressividade I, a estrutura só irá atingir 26,14% do que seria considerado em Norma, já se ele considerar a classe mais agressiva, a estrutura só atinge 87,92% da durabilidade prevista em Norma.

O mesmo estudo foi realizado para as lajes em concreto armado no gráfico 15, uma vez que, a norma diminui em 5mm o cobrimento dessa, para uma mesma classe de agressividade, quando comparado aos dos pilares e vigas. Com isso, observa-se que nenhuma classe da ABNT NBR 6118:2014, é suficiente para projetar uma estrutura durável em locais próximos as estações E5, E8 e E9.

Gráfico 15 - Perspectiva de vida útil para lajes de concreto armado



FONTE: (AUTOR, 2017)

De acordo com a perspectiva de vida útil para pilares, vigas e lajes em concreto armado, analisando a estação E8, localizada em uma região onde o desenvolvimento imobiliário de casas para temporadas, próxima a estação e na mesma linha de influência climática (figura 58), é elevado e tende a se desenvolver a cada ano, percebe-se o quanto a ABNT NBR 6118:2014 é ineficiente para atender o que rege a ABNT NBR 15575:2013, no tocante a durabilidade de estruturas de concreto armado. Pois, nenhum tipo de estrutura que venha a ser construída na região próxima à estação E8, deve atingir, a duração prevista em Norma, mesmo quando projetada na classe de agressividade mais alta.

Figura 58 - Edificações na mesma linha de influência da estação E8



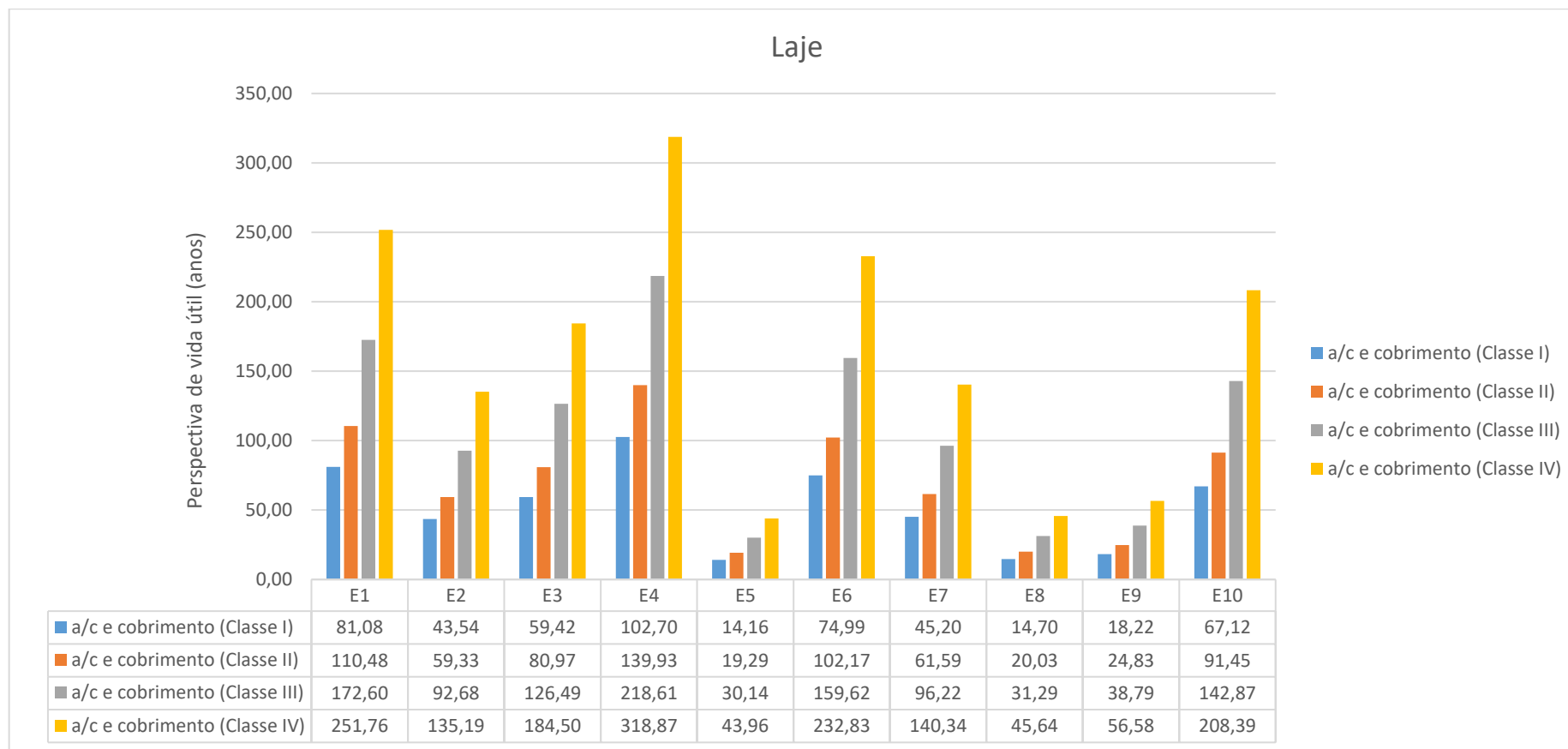
FONTE: (AUTOR, 2017)

O mesmo estudo realizado para estruturas em concreto armado, foi realizado para os pilares, vigas e lajes em concreto protendido pelo seu crescente uso em edificações. Além disso, por se tratar de uma estrutura que o aço trabalha sob tensão, adotar a classe de agressividade ambiental adequada de acordo com o cobrimento e o fator a/c , é primordial.

De acordo com os gráficos 16 e 17, referentes a lajes e vigas e pilares, respectivamente, em concreto protendido, analisa-se que as lajes protendidas localizadas nas regiões próximas as estações, E5 e E8, estão suscetíveis a uma

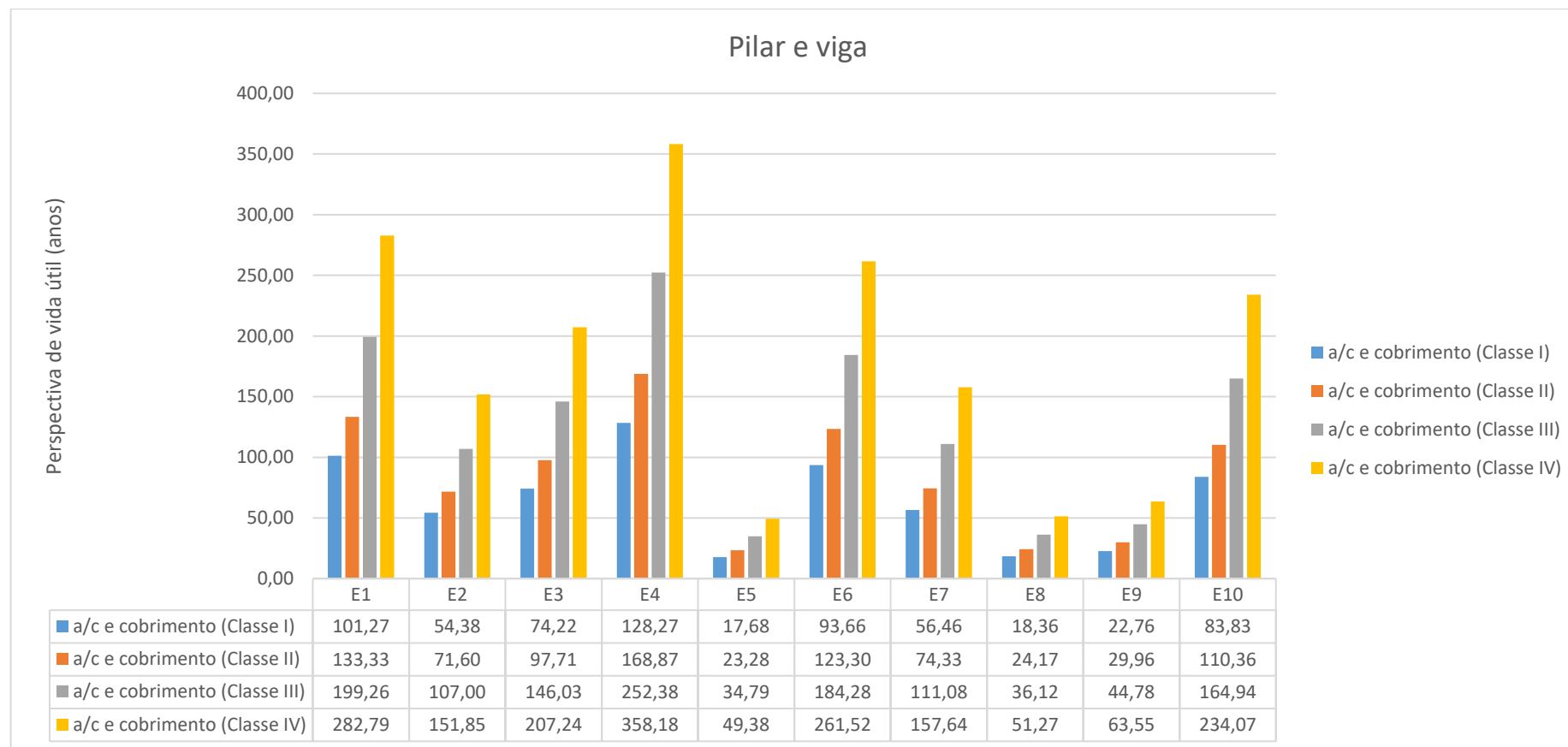
menor vida útil. Já os pilares e vigas, apresentaram somente uma região, próxima a estação E5, que não atingiu a vida útil recomendada em Norma.

Gráfico 16 - Previsão de vida útil para lajes de concreto protendido



FONTE: (AUTOR, 2017)

Gráfico 17 - Previsão de vida útil para pilares e vigas de concreto protendido



FONTE: (AUTOR, 2017)

A partir desse estudo conclui-se que a ABNT NBR 6118:2014 não garante a vida útil recomendada em norma, de algumas estruturas expostas a ação de cloretos, e além disso, por essa Norma não possuir parâmetros claros de transição entre classes de agressividade ambiental, caso o projetista considere uma classe mais baixa, diminui ainda mais a durabilidade da estrutura. Vale ressaltar que, esse estudo só considerou a maior concentração de cloreto durante os 3 meses de pesquisa, com isso, poderão existir concentrações mais elevadas, que ocasionariam uma redução ainda maior da vida útil das estruturas, na região de estudo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 CONCLUSÕES

O presente estudo na região de Aracaju/SE, nesses três meses, já demonstrou a existência de concentrações de cloretos no ar atmosférico, cujas agressividades sobre os componentes das estruturas de concreto armado, comprometerão a vida útil mínima prevista na ABNT NBR 15575:2013, caso os projetos e a tecnologia de produção dessas estruturas não mudem seus paradigmas científicos e tecnológicos. Com isso, a ABNT NBR 6118:2014 utilizada pelos nossos projetistas estruturais para concreto armado nas suas classes de categorias de exposições, apresentam requisitos mínimos e insuficientes em regiões de elevadas concentrações de cloreto.

Evidenciou-se também uma dependência entre a concentração de cloreto e os parâmetros climáticos, distância em relação ao mar, altitude e presença de obstáculos. Portanto, estudos seguintes são imperiosos para uma caracterização completa em qualquer estação do ano e condições locais.

Por fim, o alerta dado pelas medições levadas a efeito até o momento, enseja que a engenharia civil do nosso estado se adeque nas etapas de gestão da concepção, da produção e da manutenção à realidade das agressividades locais, sob pena de passivos jurídicos consideráveis no futuro, diante do não cumprimento da obrigação civil de resultado pleno para uma vida útil de bem durável com o mínimo de 50 anos.

6.2 SUGESTÕES

A partir deste estudo, fica como sugestão para futuras pesquisas:

a) A continuidade da pesquisa até pelo menos 1 ano, pois como as características climáticas influenciam na concentração de cloreto, a vela úmida tem que ser exposta a todas estações do ano. Além disso, com os dados coletados durante 1 ano, o estudo poderá classificar a agressividade dos cloretos, de acordo com a ABNT NBR 14643:2001, já que a Norma determina que o valor da concentração tem que ser a média anual.

b) Equacionar a influência da altitude na concentração de cloreto, a partir da equação com as características voltada para a região do município de Aracaju, semelhante ao estudo realizado por Albuquerque (2016).

c) Comparar outras técnicas de medição de cloreto do ar atmosférico, com a utilizada neste trabalho, visto que a ABNT NBR 6211:2001 que norteia o equipamento de medição, “vela úmida”, é do ano de 2001.

d) Instalar mais pontos de coleta, a partir de um mapeamento, pois quanto maior a quantidade de estações coletoras mais precisa será a pesquisa.

e) Estudo voltado para avaliar os materiais da construção civil frente ao ataque de cloreto.

REFERÊNCIAS

_____. **ABNT NBR 6118:2014** – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento.

_____. **ABNT NBR 6211:2001** – Corrosão atmosférica – Determinação de cloretos na atmosfera pelo método da vela úmida.

_____. **ABNT NBR 14643:2001** – Corrosão atmosférica - Classificação da corrosividade de atmosferas.

_____. **ABNT NBR 12655:2015** – Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento

_____. **ABNT NBR 15575-1:2013** – Edificações habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos gerais.

_____. **ABNT NBR 15575-2:2013** – Edificações habitacionais – Desempenho Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais.

ALBUQUERQUE, F. F. **Atualização do mapa de agressividade ambiental de Salvador-BA com dados de deposição de cloretos**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016.

ALVES, A. M. C. **Contribuição à análise da perspectiva de vida útil de estruturas em concreto face ao teor de cloreto registrado em Maceió-AL**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2007.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM INTERNATIONAL D 512-89. **Standard test methods for chloride ion in water**. 1999, United States.

ARGENTON, A. **Conceitos fundamentais de Cromatografia a líquido de Alto Desempenho (HPLC)**. Minicursos 2010 – Conselho Regional de Química. São José do Rio Preto, 2010.

ASTM International: G46-94 - **Standard Guide for Examination and Evaluation of Pitting Corrosion**. ASTM International, 2005.

CABRAL, A. E. B.; CAMPOS, A. M. R. **Estudo da agressividade do ar em Fortaleza/CE**. Cartilha, 2016.

CLIMATE. **Clima: Aracaju**. Disponível em <<https://pt.climate-data.org/location/2192/>> Acessado em 25 de junho de 2017.

FERREIRA, P. R. R. **Análise da indução da corrosão por cloretos em concretos armados com adição de resíduo de tijolo moído a partir de**

ensaios acelerados. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

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

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

IBGE; **Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil.** Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

INMET. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acessado em 15 de junho de 2017.

ITAMBE, C. **Ataque por íons de cloreto custa R\$ 800 milhões por ano ao Brasil.** 2012. Disponível em <<http://www.cimentoitambe.com.br/ataques-por-ions-de-cloreto-custa-r-800-milhoes-por-ano-ao-brasil/>>. Acessado em 01 de julho de 2017.

JÚNIOR, J. C. B. **Agressividade ambiental em zona de atmosfera marinha: estudo da deposição de cloretos e sua concentração em concretos na região sudeste.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal de Espírito Santo, Vitória, 2011.

LIMA, M. G. et al. **Durabilidade de estruturas de concreto em ambiente marinho – importância dos estudos envolvendo microclima.** Artigo, São Paulo, 2005.

MEDEIROS, M. H. F.; GOBBI, A. RÉUS, G. C.; HELENE, P. **Influência da altura e posição da edificação na penetração de cloretos: Estudo de caso em obra no Rio de Janeiro – Brasil.** In: VI CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGÍAS E RECUPERACIÓN DE ESTRUCTURAS - Córdoba, 2010.

MEIRA, G. R.; FIGUEIREDO, E. P.; **Corrosión de armadura de estructuras de hormigón.** Boletín Técnico. México, 2013.

PANNONI, F. D. **Proteção de Estruturas Metálicas frente à corrosão em ambiente marinho agressivo.** Palestra, 2016.

PELLIZZER, G. P. **Análise mecânica e probabilística da corrosão de armaduras de estruturas de concreto armado submetidas à penetração de cloretos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

PETRONILHO, E.; SÍGOLO, C. **Durabilidade do concreto: princípios fundamentais para projetar e executar estruturas duráveis.** Petronilho e Associados. Tecnologia das construções Ltda. 2011.

PIRES, V. L. L. **Levantamento das incidências patológicas nas edificações de Cabo Verde - Ilha de Santiago - Cidade da Praia.** Tese (Mestrado em

Tecnologia da construção) – Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2007.

POLITO, G. **Corrosão em estruturas de concreto armado: causas, mecanismos, prevenção e recuperação.** Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

PONTES, R. B. **Disseminação de íons cloreto na orla marítima do bairro de Boa Viagem, Recife-PE.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2006.

RIBEIRO, D. et al. **Corrosão em Estruturas de concreto armado: teoria, controle e métodos de análise.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

ROMANO, F. S. **Estudo do ingresso de cloretos em concretos localizados no litoral norte do Rio Grande do Sul.** Dissertação (Mestrado em Engenharia na modalidade Acadêmico) – Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

RÜDIGER, M. S.; **Reforço de vigas de concreto armado à flexão com ênfase à utilização de chapas de aço coladas com resina epóxi.** Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2011.

SATO, N. M. N. **Análise da porosidade e de propriedades de transporte de massa em concretos.** Artigo, 1998.

SILVA, F. A. S. **Avaliação do teor de íons cloreto no ar atmosférico da praia do futuro em Fortaleza/CE.** Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

TORRES, A. S. **Corrosão por cloretos em estruturas de concreto armado: uma meta-análise.** Tese (Doutorado em Engenharia na modalidade Acadêmico) – Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

VILASBOAS, J. M. L. **Estudo dos mecanismos de transporte de cloretos no concreto, suas inter-relações e influência na durabilidade de edificações na cidade do Salvador-BA.** Tese (Doutorado em Energia e Ambiente) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.

VITALI, M. R. V. **Efeito do distanciamento ao mar da contaminação do concreto por cloretos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

**APÊNDICE A – CONCENTRAÇÕES DE CLORETO PELO MÉTODO DE
MOHR, EM mg/L**

**Tabela A.1 – Resultado da concentração de cloreto, pelo método de Mohr, das amostras
do frasco coletar, das estações E5 e E8**

IDENTIFICAÇÃO	VA	VB	Vam	mg/L
F5 - KARTODROMO	4,806	0,576	5	422,9
F8 - TERRENO	8,285	0,576	10	385,3

APÊNDICE B – MÉDIA DIÁRIA E SOMA DOS PARÂMETROS CLIMÁTICOS

Tabela B.1 – Média mensal e soma da precipitação no período de 10/03 a 09/04

DATA	TEMP. MÉDIA (°C)	UMIDADE MÉDIA (%)	CHUVA (mm)	VELOCIDADE DO VENTO (m/s)	RAJADA (m/s)	DIREÇÃO VENTO (°)
10/03/2017	28,00	57,38	0,00	2,57	3,72	95,42
11/03/2017	28,27	57,92	2,00	2,57	3,57	125,88
12/03/2017	28,50	60,25	0,00	2,57	4,7	110,38
13/03/2017	27,95	64,75	0,00	2,40	5,43	73,17
14/03/2017	28,48	57,71	0,00	2,23	3,55	148,17
15/03/2017	28,04	63,38	0,00	1,87	3,6	131,25
16/03/2017	28,19	65,88	0,00	2,74	5,03	105,83
17/03/2017	27,07	74,42	5,00	2,92	5,69	62,58
18/03/2017	27,43	70,75	13,50	1,54	6,44	72,42
19/03/2017	27,66	67,83	0,00	1,89	3,98	128,33
20/03/2017	28,41	62,71	0,00	2,57	5,06	69,5
21/03/2017	28,45	61,42	0,00	2,57	3,83	117,83
22/03/2017	28,70	61,54	0,00	2,57	5,92	123
23/03/2017	27,31	69,54	7,20	2,40	3,85	160,92
24/03/2017	28,38	63,71	7,80	2,40	3,91	105
25/03/2017	27,75	68,96	5,80	2,23	4,8	97,21
26/03/2017	28,82	64,38	0,00	2,57	6,96	49,38
27/03/2017	28,66	64,33	0,00	3,08	4,11	89,88
28/03/2017	28,57	65,67	0,00	3,26	5,55	96,71
29/03/2017	29,70	65,33	0,00	2,74	7,07	52,38
30/03/2017	28,92	67,29	0,00	2,74	5,98	56,42
31/03/2017	29,08	63,25	0,00	2,91	5,08	81,71
01/04/2017	28,70	62,04	0,00	3,26	6,24	74,63
02/04/2017	27,46	71,63	6,60	2,57	5,69	93
03/04/2017	27,71	68,00	29,00	3,09	6,69	58,25
04/04/2017	28,48	61,71	0,00	2,57	4,05	104,08
05/04/2017	27,66	67,04	5,60	2,74	5,39	88,13
06/04/2017	28,48	60,29	0,20	2,57	7,75	75,96
07/04/2017	28,38	61,42	1,60	2,40	4,46	80,88
08/04/2017	28,53	62,54	0,00	2,57	4,89	101,79
09/04/2017	28,18	62,83	0,00	2,57	4,02	126,29
	MÉDIA DO MÊS	MÉDIA DO MÊS	SOMA DO MÊS	MÉDIA DO MÊS	MÉDIA DO MÊS	MÉDIA DO MÊS
	28,26	64,38	84,3	2,57	5,06	95,37

Tabela B.2 – Média mensal e soma da precipitação no período de 10/04 a 09/05

DATA	TEMP. MÉDIA (°C)	UMIDADE MÉDIA (%)	CHUVA (mm)	VELOCIDADE DO VENTO (m/s)	RAJADA (m/s)	DIREÇÃO VENTO (°)
10/04/2017	28,65	61,96	0,00	2,57	3,94	151,79
11/04/2017	28,74	66,04	0,00	2,57	3,94	93,58
12/04/2017	27,65	64,88	0,00	1,87	3,41	136,96
13/04/2017	27,84	70,08	0,00	2,57	5,42	123,21
14/04/2017	26,32	78,58	40,20	1,20	4,64	135,92
15/04/2017	28,40	67,25	22,00	1,54	5,51	83,50
16/04/2017	27,88	69,17	0,00	2,74	5,96	75,25
17/04/2017	27,35	69,00	2,80	2,23	3,86	93,83
18/04/2017	27,48	64,83	0,00	2,57	2,52	143,79
19/04/2017	27,27	70,92	0,00	2,57	4,77	116,83
20/04/2017	- (a)	- (a)	0,00	2,57	2,78	154,88
21/04/2017	- (a)	- (a)	0,00	2,57	3,15	156,42
22/04/2017	- (a)	- (a)	0,00	2,57	3,53	147,79
23/04/2017	28,42	64,67	0,00	2,57	5,43	57,04
24/04/2017	27,48	61,83	0,00	3,08	5,59	73,63
25/04/2017	27,99	64,67	2,20	3,26	3,40	104,67
26/04/2017	26,91	63,21	0,30	2,57	3,80	104,83
27/04/2017	27,09	71,38	1,20	2,92	4,35	115,21
28/04/2017	28,63	62,17	2,20	2,40	5,42	109,25
29/04/2017	26,95	71,96	8,90	2,74	5,93	119,04
30/04/2017	25,78	73,67	0,40	2,57	5,90	90,67
01/05/2017	25,68	70,75	11,40	2,23	4,02	174,67
02/05/2017	27,32	64,13	2,00	2,57	5,17	81,25
03/05/2017	27,42	66,92	4,80	2,40	5,55	90,88
04/05/2017	27,57	67,00	2,00	2,40	6,32	78,54
05/05/2017	28,09	61,71	0,00	2,57	5,88	75,42
06/05/2017	27,85	60,75	0,00	2,57	5,55	96,25
07/05/2017	27,49	61,04	0,00	2,57	3,65	113,58
08/05/2017	27,71	60,46	0,00	1,89	2,91	155,46
09/05/2017	27,55	67,63	0,20	2,23	3,68	93,46
	MÉDIA DO MÊS	MÉDIA DO MÊS	SOMA DO MÊS	MÉDIA DO MÊS	MÉDIA DO MÊS	MÉDIA DO MÊS
	27,54	66,54	100,6	2,46	4,53	111,59

(a) Dados não disponibilizados pelo site do INMET.

Tabela B.3 – Média mensal e soma da precipitação no período de 10/05 a 11/06

DATA	TEMP. MÉDIA (°C)	UMIDADE MÉDIA (%)	CHUVA (mm)	VELOCIDADE DO VENTO (m/s)	RAJADA (m/s)	DIREÇÃO VENTO (°)
10/05/2017	27,99	64,13	0,00	1,54	3,43	117,58
11/05/2017	27,78	60,54	0,00	2,23	3,13	142,54
12/05/2017	27,14	60,96	0,00	2,23	3,12	160,46
13/05/2017	26,09	70,50	0,40	1,54	3,05	158,54
14/05/2017	26,23	73,21	8,40	1,37	2,26	160,63
15/05/2017	27,64	69,88	0,20	2,57	3,44	149,25
16/05/2017	27,72	76,83	0,00	2,57	4,9	49,00
17/05/2017	28,45	68,21	0,00	2,57	5,14	60,04
18/05/2017	26,35	73,50	2,80	2,40	3,96	92,21
19/05/2017	26,45	72,79	19,40	2,57	4,9	101,25
20/05/2017	27,22	68,67	75,00	2,57	6,42	71,50
21/05/2017	27,85	64,29	0,00	2,57	6,52	90,75
22/05/2017	27,64	65,29	0,00	2,74	5,79	85,46
23/05/2017	24,26	85,42	92,00	1,03	2,5	184,79
24/05/2017	27,03	69,38	71,00	2,06	5,52	139,08
25/05/2017	27,15	64,58	0,00	2,92	7,27	112,17
26/05/2017	27,11	65,00	0,00	2,40	7,23	115,46
27/05/2017	25,40	76,75	50,00	2,57	5,76	117,88
28/05/2017	27,15	60,88	4,00	2,23	6,45	114,25
29/05/2017	27,06	57,58	0,00	2,31	5,98	116,50
30/05/2017	25,75	70,25	2,80	2,05	4,12	154,46
31/05/2017	26,22	69,75	4,40	2,35	3,59	152,04
01/06/2017	26,51	71,21	0,00	1,80	3,44	109,08
02/06/2017	25,78	78,63	6,00	2,35	2,78	24,00
03/06/2017	26,63	73,21	2,00	2,35	3,21	181,63
04/06/2017	27,18	64,17	0,00	2,35	6,98	85,88
05/06/2017	27,03	62,04	0,00	2,60	6	81,75
06/06/2017	27,23	64,13	0,00	2,60	5,54	87,58
07/06/2017	27,27	65,63	0,00	2,60	6,47	72,71
08/06/2017	26,64	66,92	0,80	2,85	4,08	100,58
09/06/2017	27,05	67,96	0,20	2,60	3,69	105,88
10/06/2017	27,01	69,29	0	2,05	3,23	105,08
11/06/2017	24,90	78,50	0	2,05	3,51	112,79
	MÉDIA DO MÊS	MÉDIA DO MÊS	SOMA DO MÊS	MÉDIA DO MÊS	MÉDIA DO MÊS	MÉDIA DO MÊS
	27,65	70,94	339,40	2,36	4,79	112,51

**APÊNDICE C – DESCONTO DA VELA ÚMIDA NAS CONCENTRAÇÕES
DE CLORETO EM mg/L**

Tabela C.1 – Concentração de cloreto em mg/L

IDENTIFICAÇÃO	10/03 A 10/04	10/04 A 10/05	10/05 A 12/06
A1 - UFS	2,956	1,563	11,080
F1 - UFS	2,624	5,329	6,076
A2- SALGADO FILHO	12,640	0,094	8,695
F2 - SALGADO FILHO	1,424	45,280	5,997
A3 - JARDINS	19,400	0,068	15,470
F3 - JARDINS	2,238	9,076	5,412
A4 - INÁCIO BARBOSA	4,796	0,050	5,778
F4 - INÁCIO BARBOSA	0,834	8,033	6,124
A5 - ATALAIA	189,900	193,070	199,400
F5 - ATALAIA	187,800	20,920	422,900
A6 - AEROPORTO	9,400	0,050	13,240
F6 - AEROPORTO	3,547	2,550	4,004
A7 - ARUANDA	32,730	36,960	37,690
F7 - ARUANDA	1,101	4,764	3,864
A8 - MOSQUEIRO	(a)	177,600	183,900
F8 - MOSQUEIRO	(a)	228,900	385,300
A9 - MOSQUEIRO	70,160	103,100	71,010
F9 - MOSQUEIRO	101,400	240,100	240,000
A10 - MOSQUEIRO	5,271	0,262	10,590
F10 - MOSQUEIRO	4,886	8,722	12,110

(a) Estação danificada durante o mês de coleta

Tabela C.2 – Desconto da vela branca em mg/L

IDENTIFICAÇÃO	10/03 A 10/04	10/04 A 10/05	10/05 A 12/06
A1 - UFS	0,691	0,699	1,237
F1 - UFS	0,505	1,825	6,163
A2 - SALGADO FILHO	0,691	0,699	1,237
F2 - SALGADO FILHO	0,505	1,825	6,163
A3 - JARDINS	0,691	0,699	1,237
F3 - JARDINS	0,505	1,825	6,163
A4 - INÁCIO BARBOSA	0,691	0,699	1,237
F4 - INÁCIO BARBOSA	0,505	1,825	6,163
A5 - ATALAIA	0,691	0,699	1,237
F5 - ATALAIA	0,505	1,825	(b)
A6 - AEROPORTO	0,691	0,699	1,237
F6 - AEROPORTO	0,505	1,825	6,163
A7 - ARUANDA	0,691	0,699	1,237

F7 - ARUANDA	0,505	1,825	6,163
A8 - MOSQUEIRO	(a)	0,699	1,237
F8 - MOSQUEIRO	(a)	1,825	(b)
A9 - MOSQUEIRO	0,691	0,699	1,237
F9 - MOSQUEIRO	0,505	1,825	6,163
A10 - MOSQUEIRO	0,691	0,699	1,237
F10 - MOSQUEIRO	0,505	1,825	6,163

(a) Estação danificada durante o mês de coleta

(b) As amostras foram ensaiadas pelo método de Mohr

Tabela C.3 – Concentração de cloreto em mg/L com o desconto da vela branca

IDENTIFICAÇÃO	10/03 A 10/04	10/04 A 10/05	10/05 A 12/06
A1 - UFS	4,384	4,368	9,756
F1 - UFS			
A2- SALGADO FILHO	12,868	42,850	7,292
F2 - SALGADO FILHO			
A3 - JARDINS	20,442	6,620	13,482
F3 - JARDINS			
A4 - INÁCIO BARBOSA	4,434	5,559	4,502
F4 - INÁCIO BARBOSA			
A5 - ATALAIA	376,504	211,466	621,063
F5 - ATALAIA			
A6 - AEROPORTO	11,751	0,076	9,844
F6 - AEROPORTO			
A7 - ARUANDA	32,635	39,200	34,154
F7 - ARUANDA			
A8 - MOSQUEIRO	0,000	403,976	567,963
F8 - MOSQUEIRO			
A9 - MOSQUEIRO	170,364	340,676	303,610
F9 - MOSQUEIRO			
A10 - MOSQUEIRO	8,961	6,460	15,300
F10 - MOSQUEIRO			

APÊNDICE D – CÁLCULOS REFERENTES A PERSPECTIVA DE VIDA ÚTIL DAS ESTRUTURAS

Tabela D.1 – Perspectiva de vida útil para pilares e vigas em concreto armado

ESTAÇÃO	e1	a/c1	C CI	Classe I	e2	a/c2	C CI	Classe II	e3	a/c3	C CI	Classe III	e4	a/c4	C CI	Classe IV
E1	25	0,65	9,756	74,85	30	0,6	9,756	101,27	40	0,55	9,756	156,91	50	0,45	9,756	251,76
E2	25	0,65	42,85	40,19	30	0,6	42,85	54,38	40	0,55	42,85	84,26	50	0,45	42,85	135,19
E3	25	0,65	20,442	54,85	30	0,6	20,442	74,22	40	0,55	20,442	114,99	50	0,45	20,442	184,50
E4	25	0,65	5,559	94,80	30	0,6	5,559	128,27	40	0,55	5,559	198,74	50	0,45	5,559	318,87
E5	25	0,65	621,06	13,07	30	0,6	621,063	17,68	40	0,55	621,063	27,40	50	0,45	621,063	43,96
E6	25	0,65	11,751	69,22	30	0,6	11,751	93,66	40	0,55	11,751	145,11	50	0,45	11,751	232,83
E7	25	0,65	39,2	41,72	30	0,6	39,2	56,46	40	0,55	39,2	87,47	50	0,45	39,2	140,34
E8	25	0,65	567,96	13,57	30	0,6	567,963	18,36	40	0,55	567,963	28,45	50	0,45	567,963	45,64
E9	25	0,65	340,68	16,82	30	0,6	340,676	22,76	40	0,55	340,676	35,26	50	0,45	340,676	56,58
E10	25	0,65	15,3	61,95	30	0,6	15,3	83,83	40	0,55	15,3	129,88	50	0,45	15,3	208,39

Tabela D.2 – Perspectiva de vida útil para lajes em concreto armado

ESTAÇÃO	e1	a/c1	C CI	Classe I	e2	a/c2	C CI	Classe II	e3	a/c3	C CI	Classe III	e4	a/c4	C CI	Classe IV
E1	20	0,65	9,756	57,01	25	0,6	9,756	81,08	35	0,55	9,756	133,33	45	0,45	9,756	221,40
E2	20	0,65	42,85	30,62	25	0,6	42,85	43,54	35	0,55	42,85	71,60	45	0,45	42,85	118,89
E3	20	0,65	20,442	41,78	25	0,6	20,442	59,42	35	0,55	20,442	97,71	45	0,45	20,442	162,26
E4	20	0,65	5,559	72,21	25	0,6	5,559	102,70	35	0,55	5,559	168,87	45	0,45	5,559	280,42

E5	20	0,65	621,06	9,96	25	0,6	621,063	14,16	35	0,55	621,063	23,28	45	0,45	621,063	38,66
E6	20	0,65	11,751	52,73	25	0,6	11,751	74,99	35	0,55	11,751	123,30	45	0,45	11,751	204,75
E7	20	0,65	39,2	31,78	25	0,6	39,2	45,20	35	0,55	39,2	74,33	45	0,45	39,2	123,42
E8	20	0,65	567,96	10,34	25	0,6	567,963	14,70	35	0,55	567,963	24,17	45	0,45	567,963	40,14
E9	20	0,65	340,68	12,81	25	0,6	340,676	18,22	35	0,55	340,676	29,96	45	0,45	340,676	49,75
E10	20	0,65	15,3	47,19	25	0,6	15,3	67,12	35	0,55	15,3	110,36	45	0,45	15,3	183,26

Tabela D.3 – Perspectiva de vida útil para lajes em concreto protendido

ESTAÇÃO	e1	a/c1	C CI	Classe I	e2	a/c2	C CI	Classe II	e3	a/c3	C CI	Classe III	e4	a/c4	C CI	Classe IV
E1	25	0,6	9,756	81,08	30	0,55	9,756	110,48	40	0,5	9,756	172,60	50	0,45	9,756	251,76
E2	25	0,6	42,85	43,54	30	0,55	42,85	59,33	40	0,5	42,85	92,68	50	0,45	42,85	135,19
E3	25	0,6	20,442	59,42	30	0,55	20,442	80,97	40	0,5	20,442	126,49	50	0,45	20,442	184,50
E4	25	0,6	5,559	102,70	30	0,55	5,559	139,93	40	0,5	5,559	218,61	50	0,45	5,559	318,87
E5	25	0,6	621,06	14,16	30	0,55	621,063	19,29	40	0,5	621,063	30,14	50	0,45	621,063	43,96
E6	25	0,6	11,751	74,99	30	0,55	11,751	102,17	40	0,5	11,751	159,62	50	0,45	11,751	232,83
E7	25	0,6	39,2	45,20	30	0,55	39,2	61,59	40	0,5	39,2	96,22	50	0,45	39,2	140,34
E8	25	0,6	567,96	14,70	30	0,55	567,963	20,03	40	0,5	567,963	31,29	50	0,45	567,963	45,64
E9	25	0,6	340,68	18,22	30	0,55	340,676	24,83	40	0,5	340,676	38,79	50	0,45	340,676	56,58
E10	25	0,6	15,3	67,12	30	0,55	15,3	91,45	40	0,5	15,3	142,87	50	0,45	15,3	208,39

Tabela D.4 – Perspectiva de vida útil para pilares e vigas em concreto protendido

ESTAÇÃO	e1	a/c1	C CI	Classe I	e2	a/c2	C CI	Classe II	e3	a/c3	C CI	Classe III	e4	a/c4	C CI	Classe IV
E1	30	0,6	9,756	101,27	35	0,55	9,756	133,33	45	0,5	9,756	199,26	55	0,45	9,756	282,79
E2	30	0,6	42,85	54,38	35	0,55	42,85	71,60	45	0,5	42,85	107,00	55	0,45	42,85	151,85
E3	30	0,6	20,442	74,22	35	0,55	20,442	97,71	45	0,5	20,442	146,03	55	0,45	20,442	207,24
E4	30	0,6	5,559	128,27	35	0,55	5,559	168,87	45	0,5	5,559	252,38	55	0,45	5,559	358,18
E5	30	0,6	621,06	17,68	35	0,55	621,063	23,28	45	0,5	621,063	34,79	55	0,45	621,063	49,38
E6	30	0,6	11,751	93,66	35	0,55	11,751	123,30	45	0,5	11,751	184,28	55	0,45	11,751	261,52
E7	30	0,6	39,2	56,46	35	0,55	39,2	74,33	45	0,5	39,2	111,08	55	0,45	39,2	157,64
E8	30	0,6	567,96	18,36	35	0,55	567,963	24,17	45	0,5	567,963	36,12	55	0,45	567,963	51,27
E9	30	0,6	340,68	22,76	35	0,55	340,676	29,96	45	0,5	340,676	44,78	55	0,45	340,676	63,55
E10	30	0,6	15,3	83,83	35	0,55	15,3	110,36	45	0,5	15,3	164,94	55	0,45	15,3	234,07

ANEXO A – ELEMENTOS QUÍMICOS UTILIZADOS NO MÉTODO DE MOHR

Tabela A.1 – Lista das soluções e reagentes utilizados no método de Mohr

Fórmula	Elemento
AgNO_3	Nitrato de prata
NaOH	Hidróxido de sódio
H_2SO_4	Ácido sulfúrico
NaCl	Cloreto de sódio
K_2CrO_4	Cromato de potássio

ANEXO B – RESULTADOS DO ITPS

Imagem B.1 - Resultados do período de 10/03 a 10/04



**INSTITUTO TECNOLÓGICO E DE PESQUISAS DO
ESTADO DE SERGIPE**

Rua Campo do Brito, Nº371, Treze de Julho, CEP 49.020-380 Fone (79) 3179-8081/8087 Fax (79) 3179-8087/8090
Aracaju - SE - Brasil CNPJ 07.258.529/0001-59

Relatório de Ensaios ITPS Nº 1421/17 Revisão 00

Cliente	CONSTRUTORA CARVALHO LTDA	Telefone	LARISSA 9 9981-15
Endereço	Rua Lagarto, 27, CEP 49010-390	Contato(s)	Eng.Carlos 99978-3631 / LARISSA9 9981-15
e-mail	consvalho@gmail.com	Fax	
Amostra(s)	Águas AD	Recepção	12/04/17

Amostra	Resultado	Unidade	LQ	Código	Método	Coleta em	Data do Ensaio
E1	0,691	mg Cl/L	2,42	1421/17-01	SMEWW, 2012, 4500-Cl B	18/04/17	
E2	2,956	mg Cl/L	2,42	1421/17-02	SMEWW, 2012, 4500-Cl B	18/04/17	
E3	12,64	mg Cl/L	2,42	1421/17-03	SMEWW, 2012, 4500-Cl B	18/04/17	
E4	19,40	mg Cl/L	2,42	1421/17-04	SMEWW, 2012, 4500-Cl B	18/04/17	
E5	4,796	mg Cl/L	2,42	1421/17-05	SMEWW, 2012, 4500-Cl B	18/04/17	
E6	189,9	mg Cl/L	2,42	1421/17-06	SMEWW, 2012, 4500-Cl B	18/04/17	
E7	9,400	mg Cl/L	2,42	1421/17-07	SMEWW, 2012, 4500-Cl B	18/04/17	
E8	32,73	mg Cl/L	2,42	1421/17-08	SMEWW, 2012, 4500-Cl B	18/04/17	
E9	70,16	mg Cl/L	2,42	1421/17-09	SMEWW, 2012, 4500-Cl B	18/04/17	
E10	5,271	mg Cl/L	2,42	1421/17-10	SMEWW, 2012, 4500-Cl B	18/04/17	
F1	2,624	mg Cl/L	2,42	1421/17-11	SMEWW, 2012, 4500-Cl B	18/04/17	
F2	1,424	mg Cl/L	2,42	1421/17-12	SMEWW, 2012, 4500-Cl B	18/04/17	
F3	2,238	mg Cl/L	2,42	1421/17-13	SMEWW, 2012, 4500-Cl B	18/04/17	
F4	0,834	mg Cl/L	2,42	1421/17-14	SMEWW, 2012, 4500-Cl B	18/04/17	

Imagem B.2 - Resultados do período de 10/03 a 10/04


**INSTITUTO TECNOLÓGICO E DE PESQUISAS DO
ESTADO DE SERGIPE**

 Rua Campo do Brito, Nº371, Treze de Julho, CEP 49.020-380
Aracaju - SE - Brasil

 Fone (79) 3179-8081/8087 Fax (79) 3179-8087/8090
CNPJ 07.258.529/0001-59

Relatório de Ensaios ITPS Nº 1421/17

Revisão 00

Cliete	CONSTRUTORA CARVALHO LTDA	Telefone	LARISSA 9 9981-15
Endereço	Rua Lagarto, 27, CEP 49010-390	Contato(s)	Eng.Carlos 99978-3631 / LARISSA 9 9981-15
e-mail	consvalho@gmail.com	Fax	
Amostra(s)	Águas AD	Recepção	12/04/17

Amostra	F5	Código	1421/17-15	Coleta em	
Ensaio		Resultado	Unidade	LQ	Método
Cloratos		187,8	mg Cl/L	2,42	SMEWW, 2012, 4500-Cl B
					Data do Ensaio
					18/04/17

Amostra	F6	Código	1421/17-16	Coleta em	
Ensaio		Resultado	Unidade	LQ	Método
Cloratos		3,547	mg Cl/L	2,42	SMEWW, 2012, 4500-Cl B
					Data do Ensaio
					18/04/17

Amostra	F7	Código	1421/17-17	Coleta em	
Ensaio		Resultado	Unidade	LQ	Método
Cloratos		1,101	mg Cl/L	2,42	SMEWW, 2012, 4500-Cl B
					Data do Ensaio
					18/04/17

Amostra	F9	Código	1421/17-18	Coleta em	
Ensaio		Resultado	Unidade	LQ	Método
Cloratos		101,4	mg Cl/L	2,42	SMEWW, 2012, 4500-Cl B
					Data do Ensaio
					18/04/17

Amostra	F10	Código	1421/17-19	Coleta em	
Ensaio		Resultado	Unidade	LQ	Método
Cloratos		4,886	mg Cl/L	2,42	SMEWW, 2012, 4500-Cl B
					Data do Ensaio
					18/04/17

Amostra	FB	Código	1421/17-20	Coleta em	
Ensaio		Resultado	Unidade	LQ	Método
Cloratos		0,505	mg Cl/L	2,42	SMEWW, 2012, 4500-Cl B
					Data do Ensaio
					18/04/17

Legenda

SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, 22ª. ed., Washington, 2012.

LQ: Limite de Quantificação do Método.

Informações de Coleta

Coleta efetuada pelo cliente.

A descrição do material ensaiado é de inteira responsabilidade do cliente.

Aracaju, 19 de abril de 2017.

 Simone Lessa Marques
Coordenadora Lab.
Química Água
CRQ-SE - 08200258
(79) 3179 8068

Documento verificado e aprovado por meios eletrônicos

 A verificação da autenticidade deste documento pode ser feita baixando o documento original em www.itps.se.gov.br na aba
Serviços clicando em Resultados de Análises usando o código LRCDF UBQ 121.

Imagem B.3 - Resultados do período de 10/04 a 10/05


**INSTITUTO TECNOLÓGICO E DE PESQUISAS DO
ESTADO DE SERGIPE**

 Rua Campo do Brito, Nº371, Treze de Julho, CEP 49.020-380
Aracaju - SE - Brasil

 Fone (79) 3179-8081/8087 Fax (79) 3179-8087/8090
CNPJ 07.258.529/0001-59

Relatório de Ensaios ITPS Nº 1834/17

Revisão 00

Cliente	CONSTRUTORA CARVALHO LTDA	Telefone	LARISSA 9 9981-15
Endereço	Rua Lagarto, 27, CEP 49010-390	Contato(s)	Eng. Carlos 99978-3631 / LARISSA 9 9981-15
e-mail	consvalho@gmail.com, anaiarissacprata@gmail.com	Fax	
Amostra(s)	Águas AD	Recepção	12/05/17

Amostra	E 1			Código	1834/17-01	Coleta em	10/05/17 10:00
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método		Data do Ensaio	
Cloretos	1,563	mg Cl/L	0,050	US EPA 300.1		17/05/17	

Amostra	E 2				Código	1834/17-02	Coleta em	10/05/17 10:00
Ensaio		Resultado	Unidade	LQ	Método		Data do Ensaio	
Cloretos		0,094	mg Cl/L	0,050	US EPA 300.1		17/05/17	

Amostra	E 3				Código	1834/17-03	Coleta em	10/05/17 10:00
Ensaio		Resultado	Unidade	LQ	Método		Data do Ensaio	
Cloretos		0,068	mg Cl/L	0,050	US EPA 300.1		17/05/17	

Amostra	E 4				Código	1834/17-04	Coleta em	10/05/17 10:00
Ensaio		Resultado	Unidade	LQ	Método		Data do Ensaio	
Cloretos		<0,050	mg Cl/L	0,050	US EPA 300.1		17/05/17	

Amostra	E 5				Código	1834/17-05	Coleta em	10/05/17 10:00
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método		Data do Ensaio		
Cloretos	193,7	mg Cl/L	0,050	US EPA 300.1		17/05/17		

Amostra	E 6				Código	1834/17-06	Coleta em	10/05/17 10:00
Ensaio		Resultado	Unidade	LQ	Método		Data do Ensaio	
Cloretos		<0,050	mg Cl/L	0,050	US EPA 300.1		17/05/17	

Amostra	E 7				Código	1834/17-07	Coleta em	10/05/17 10:00
Ensaio		Resultado	Unidade	LQ	Método		Data do Ensaio	
Cloretos		36,96	mg Cl/L	0,050	US EPA 300.1		17/05/17	

Amostra	E 8				Código	1834/17-08	Coleta em	10/05/17 10:00
Ensaio		Resultado	Unidade	LQ	Método		Data do Ensaio	
Cloretos		177,6	mg Cl/L	0,050	US EPA 300.1		17/05/17	

Amostra	E 9				Código	1834/17-09	Coleta em	10/05/17 10:00
Ensaio		Resultado	Unidade	LQ	Método		Data do Ensaio	
Cloretos		103,1	mg Cl/L	0,050	US EPA 300.1		17/05/17	

Amostra	E 10				Código	1834/17-10	Coleta em	10/05/17 10:00
Ensaio		Resultado	Unidade	LQ	Método		Data do Ensaio	
Cloretos		0,262	mg Cl/L	0,050	US EPA 300.1		17/05/17	

Amostra	F 1				Código	1834/17-11	Coleta em	10/05/17 10:00
Ensaio		Resultado	Unidade	LQ	Método		Data do Ensaio	
Cloretos		5,329	mg Cl/L	0,050	US EPA 300.1		17/05/17	

Amostra	F 2			Código	1834/17-12	Coleta em	10/05/17 10:00
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método		Data do Ensaio	
Cloretos	45,28	mg Cl/L	0,050	US EPA 300.1		17/05/17	

Amostra	F 3			Código	1834/17-13	Coleta em	10/05/17 10:00
Ensaio		Resultado	Unidade	LQ	Método		Data do Ensaio
Cloretos		9,076	mg Cl/L	0,050	US EPA 300.1		17/05/17

Amostra	F 4				Código	1834/17-14	Coleta em	10/05/17 10:00
Ensaio		Resultado	Unidade	LQ	Método		Data do Ensaio	
Cloretos		8,033	mg Cl/L	0,050	US EPA 300.1		17/05/17	

Imagem B.4 - Resultados do período de 10/04 a 10/05


**INSTITUTO TECNOLÓGICO E DE PESQUISAS DO
ESTADO DE SERGIPE**

 Rua Campo do Brito, Nº371, Treze de Julho, CEP 49.020-380
Aracaju - SE - Brasil

 Fone (79) 3179-8081/8087 Fax (79) 3179-8087/8090
CNPJ 07.258.529/0001-59

Relatório de Ensaios ITPS Nº 1834/17

Revisão 00

Cliente	CONSTRUTORA CARVALHO LTDA	Telefone	LARISSA 9 9981-15
Endereço	Rua Lagarto, 27, CEP 49010-390	Contato(s)	Eng.Carlos 99978-3631 / LARISSA9 9981-15
e-mail	consvalho@gmail.com,analarissacprata@gmail.com	Fax	
Amostra(s)	Águas AD	Recepção	12/05/17

Amostra	F 5	Código	1834/17-15	Coleta em	10/05/17 10:00
Ensaio		Resultado		Método	
Cloretos		20,92	mg Cl/L	US EPA 300.1	17/05/17

Amostra	F 6	Código	1834/17-16	Coleta em	10/05/17 10:00
Ensaio		Resultado		Método	
Cloretos		2,550	mg Cl/L	US EPA 300.1	17/05/17

Amostra	F 7	Código	1834/17-17	Coleta em	10/05/17 10:00
Ensaio		Resultado		Método	
Cloretos		4,764	mg Cl/L	US EPA 300.1	17/05/17

Amostra	F 8	Código	1834/17-18	Coleta em	10/05/17 10:00
Ensaio		Resultado		Método	
Cloretos		228,9	mg Cl/L	US EPA 300.1	17/05/17

Amostra	F 9	Código	1834/17-19	Coleta em	10/05/17 10:00
Ensaio		Resultado		Método	
Cloretos		240,1	mg Cl/L	US EPA 300.1	17/05/17

Amostra	F 10	Código	1834/17-20	Coleta em	10/05/17 10:00
Ensaio		Resultado		Método	
Cloretos		8,722	mg Cl/L	US EPA 300.1	17/05/17

Amostra	E B	Código	1834/17-21	Coleta em	10/05/17 10:00
Ensaio		Resultado		Método	
Cloretos		0,699	mg Cl/L	US EPA 300.1	17/05/17

Legenda

US EPA: United States Environmental Protection Agency, EUA.

LQ: Limite de Quantificação do Método.

Informações de Coleta

Coleta efetuada pelo cliente.

A descrição do material ensaiado é de inteira responsabilidade do cliente.

Aracaju, 23 de maio de 2017.

 Simone Lessa Marques
Coordenadora Lab.
Química Água
CRQ-SE - 08200258
(79) 3179 8068

Documento verificado e aprovado por meios eletrônicos

 A verificação da autenticidade deste documento pode ser feita baixando o documento original em www.itps.se.gov.br na aba
Serviços clicando em Resultados de Análises usando o código LRBHZ CJ6 489.

Imagem B.5 - Resultados do período de 10/04 a 10/05


**INSTITUTO TECNOLÓGICO E DE PESQUISAS DO
ESTADO DE SERGIPE**

 Rua Campo do Brito, Nº371, Treze de Julho, CEP 49.020-380
 Aracaju - SE - Brasil

 Fone (79) 3179-8081/8087 Fax (79) 3179-8087/8090
 CNPJ 07.258.529/0001-59

Relatório de Ensaios ITPS Nº 1840/17

Revisão 00

Cliente	CONSTRUTORA CARVALHO LTDA	Telefone	LARISSA 9 9981-15
Endereço	Rua Lagarto, 27, CEP 49010-390	Contato(s)	Eng.Carlos 99978-3631 / LARISSA9 9981-15
e-mail	consvalho@gmail.com,analarissacprata@gmail.com	Fax	
Amostra(s)	Água AD	Recepção	12/05/17

Amostra	FEB	Código	1840/17-01	Coleta em	10/05/17 10:00
Ensaio		Resultado	Unidade	LQ	Método
Cloretos		1,825	mg Cl/L	0,050	US EPA 300.1
					Data do Ensaio
					17/05/17

Legenda

US EPA: United States Environmental Protection Agency, EUA.

LQ: Limite de Quantificação do Método.

Informações de Coleta

Coleta efetuada pelo cliente.

A descrição do material ensaiado é de inteira responsabilidade do cliente.

Aracaju, 23 de maio de 2017.

 Simone Lessa Marques
 Coordenadora Lab.
 Química Água
 CRQ-SE - 08200258
 (79) 3179 8068

Documento verificado e aprovado por meios eletrônicos

 A verificação da autenticidade deste documento pode ser feita baixando o documento original em www.itps.se.gov.br na aba
 Serviços clicando em Resultados de Análises usando o código LRC06 UBZ 209.

Imagem B.6 - Resultados do período de 10/05 a 12/06


**INSTITUTO TECNOLÓGICO E DE PESQUISAS DO
ESTADO DE SERGIPE**

 Rua Campo do Brito, Nº371, Treze de Julho, CEP 49.020-380
Aracaju - SE - Brasil

 Fone (79) 3179-8081/8087 Fax (79) 3179-8087/8090
CNPJ 07.258.529/0001-59

Relatório de Ensaios ITPS Nº 2256/17

Revisão 00

Cliete	CONSTRUTORA CARVALHO LTDA	Telefone	LARISSA 9 9981-1569
Endereço	Rua Lagarto, 27, CEP 49010-390	Contato(s)	Eng. Carlos 99978-3631 / LARISSA 9 9981-15
e-mail	consvalho@gmail.com, analarissacprata@gmail.com	Fax	
Amostra(s)	Águas AD	Recepção	14/06/17

Amostra	EB	Código	2256/17-01	Coleta em	
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método	Data do Ensaio
Cloreto	1,237	mg Cl/L	0,050	Cromatografia iônica (US EPA 300.1)	16/06/17

Amostra	E1	Código	2256/17-02	Coleta em	
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método	Data do Ensaio
Cloreto	11,08	mg Cl/L	0,050	Cromatografia iônica (US EPA 300.1)	16/06/17

Amostra	E2	Código	2256/17-03	Coleta em	
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método	Data do Ensaio
Cloreto	8,695	mg Cl/L	0,050	Cromatografia iônica (US EPA 300.1)	16/06/17

Amostra	E3	Código	2256/17-04	Coleta em	
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método	Data do Ensaio
Cloreto	15,47	mg Cl/L	0,050	Cromatografia iônica (US EPA 300.1)	16/06/17

Amostra	E4	Código	2256/17-05	Coleta em	
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método	Data do Ensaio
Cloreto	5,778	mg Cl/L	0,050	Cromatografia iônica (US EPA 300.1)	16/06/17

Amostra	E5	Código	2256/17-06	Coleta em	
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método	Data do Ensaio
Cloreto	199,4	mg Cl/L	0,050	Cromatografia iônica (US EPA 300.1)	16/06/17

Amostra	E6	Código	2256/17-07	Coleta em	
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método	Data do Ensaio
Cloreto	13,24	mg Cl/L	0,050	Cromatografia iônica (US EPA 300.1)	16/06/17

Amostra	E7	Código	2256/17-08	Coleta em	
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método	Data do Ensaio
Cloreto	37,69	mg Cl/L	0,050	Cromatografia iônica (US EPA 300.1)	16/06/17

Amostra	E8	Código	2256/17-09	Coleta em	
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método	Data do Ensaio
Cloreto	183,9	mg Cl/L	0,050	Cromatografia iônica (US EPA 300.1)	16/06/17

Amostra	E9	Código	2256/17-10	Coleta em	
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método	Data do Ensaio
Cloreto	71,01	mg Cl/L	0,050	Cromatografia iônica (US EPA 300.1)	16/06/17

Amostra	E10	Código	2256/17-11	Coleta em	
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método	Data do Ensaio
Cloreto	10,59	mg Cl/L	0,050	Cromatografia iônica (US EPA 300.1)	16/06/17

Amostra	F1	Código	2256/17-12	Coleta em	
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método	Data do Ensaio
Cloreto	6,076	mg Cl/L	0,050	Cromatografia iônica (US EPA 300.1)	16/06/17

Amostra	F2	Código	2256/17-13	Coleta em	
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método	Data do Ensaio
Cloreto	5,997	mg Cl/L	0,050	Cromatografia iônica (US EPA 300.1)	16/06/17

Amostra	F3	Código	2256/17-14	Coleta em	
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método	Data do Ensaio
Cloreto	5,412	mg Cl/L	0,050	Cromatografia iônica (US EPA 300.1)	16/06/17

Amostra	F4	Código	2256/17-15	Coleta em	
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método	Data do Ensaio
Cloreto	6,124	mg Cl/L	0,050	Cromatografia iônica (US EPA 300.1)	16/06/17

A Custódia das amostras é de 15 dias após emissão do relatório de ensaios, exceto para solos que é 90 dias e água que é 2 dias. Não se aplica a amostras perecíveis. Os resultados têm significado restrito e aplicam-se somente às amostras ensaiadas. Este relatório somente poderá ser reproduzido em sua totalidade. O ITPS se isenta de qualquer responsabilidade pela reprodução parcial do mesmo.

RF-LBW-004, Rev. 00

Página: 1/2

Imagem B.7 - Resultados do período de 10/05 a 12/06


**INSTITUTO TECNOLÓGICO E DE PESQUISAS DO
ESTADO DE SERGIPE**

 Rua Campo do Brito, Nº371, Três de Julho, CEP 49.020-380
Aracaju - SE - Brasil

 Fone (79) 3179-8081/8087 Fax (79) 3179-8087/8090
CNPJ 07.258.529/0001-59

Relatório de Ensaios ITPS Nº 2256/17

Revisão 00

Cliente	CONSTRUTORA CARVALHO LTDA	Telefone	LARISSA 9 9981-1569
Endereço	Rua Lagarto, 27, CEP 49010-390	Contato(s)	Eng. Carlos 99978-3631 / LARISSA 9 9981-15
e-mail	consvalho@gmail.com, analarissacprata@gmail.com	Fax	
Amostra(s)	Águas AD	Recepção	14/06/17

Amostra	F5	Código	2256/17-16	Coleta em	
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método	Data do Ensaio
Cloreto	422,9	mg Cl/L	0,050	Cromatografia iônica (US EPA 300.1)	22/06/17

Amostra	F6	Código	2256/17-17	Coleta em	
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método	Data do Ensaio
Cloreto	4,004	mg Cl/L	0,050	Cromatografia iônica (US EPA 300.1)	16/06/17

Amostra	F7	Código	2256/17-18	Coleta em	
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método	Data do Ensaio
Cloreto	3,864	mg Cl/L	0,050	Cromatografia iônica (US EPA 300.1)	16/06/17

Amostra	F8	Código	2256/17-19	Coleta em	
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método	Data do Ensaio
Cloreto	385,3	mg Cl/L	0,050	Cromatografia iônica (US EPA 300.1)	22/06/17

Amostra	F9	Código	2256/17-20	Coleta em	
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método	Data do Ensaio
Cloreto	240,0	mg Cl/L	0,050	Cromatografia iônica (US EPA 300.1)	16/06/17

Amostra	F10	Código	2256/17-21	Coleta em	
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método	Data do Ensaio
Cloreto	12,11	mg Cl/L	0,050	Cromatografia iônica (US EPA 300.1)	16/06/17

Amostra	FB	Código	2256/17-22	Coleta em	
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método	Data do Ensaio
Cloreto	6,163	mg Cl/L	0,050	Cromatografia iônica (US EPA 300.1)	16/06/17

Legenda

 US EPA: United States Environmental Protection Agency, EUA.
LQ: Limite de Quantificação do Método.

Informações de Coleta

 Coleta efetuada pelo cliente.
A descrição do material ensaiado é de inteira responsabilidade do cliente.

Preservação e distribuição dos itens de ensaio (por amostra)				
Código da preservação	Código do Laboratório	Descrição resumida da preservação	Quantidade aproximada	Recipiente
RP	AD	Refrigeração	1000mL	Frasco Plástico

Aracaju, 26 de junho de 2017.

 Simone Lessa Marques
Coordenadora Lab.
Química Água
CRQ-SE - 08200258
(79) 3179 8068

Documento verificado e aprovado por meios eletrônicos

 A verificação da autenticidade deste documento pode ser feita baixando o documento original em www.itps.se.gov.br na aba
Serviços clicando em Resultados de Análises usando o código LRCNO ZBM 199.