

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ESTRUTURAL E CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

PAULO CESAR DE MORAES OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DO TEOR DE DEPOSIÇÃO DE ÍONS CLORETO NA ATMOSFERA
DA PRAIA DE IRACEMA EM FORTALEZA/CE**

**FORTALEZA
2013**

PAULO CESAR DE MORAES OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DO TEOR DE DEPOSIÇÃO DE ÍONS CLORETO NA ATMOSFERA
DA PRAIA DE IRACEMA EM FORTALEZA/CE**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Eduardo Bezerra Cabral

FORTALEZA
2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

-
- O45 Oliveira, Paulo Cesar de Moraes.
 Avaliação do teor de deposição de íons cloreto na atmosfera da praia de Iracema em Fortaleza/Ce /
 Paulo Cesar de Moraes Oliveira – 2013.
 65 f. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Monografia (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de
Engenharia Estrutural e Construção Civil, Engenharia Civil, Fortaleza, 2013.
 Orientação: Prof. Dr. Antônio Eduardo Bezerra Cabral.
1. Íons cloreto. 2. Corrosão de armaduras. 3. Vela úmida. I. Título.

PAULO CESAR DE MORAES OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DO TEOR DE DEPOSIÇÃO DE ÍONS CLORETO NA ATMOSFERA
DA PRAIA DE IRACEMA EM FORTALEZA/CE**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Eduardo Bezerra Cabral

Aprovada em 04/02/2013

BANCA EXAMINADORA

Prof. D.Sc. Antônio Eduardo Bezerra Cabral (Orientador)
Universidade Federal do Ceará – UFC

Engº Felipe Alisson de Sousa e Silva (Examinador)
Grupo M. Dias Branco

Prof. D.Sc. Augusto Teixeira de Albuquerque (Examinador)
Universidade Federal do Ceará – UFC

A Deus.

Aos meus pais Jesus e Cezaria.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que nunca me abandonou nos momentos difíceis e com o seu imenso poder sempre me tornou vitorioso nos meus sonhos.

Aos meus pais, Jesus e Cezaria, que sempre me guiaram por caminhos retos e me transformaram em um homem de bem. A eles sou grato por tudo o que conquistei.

As minhas queridas Elizabeth, Elizângela e Eliane por serem irmãs de verdade e por nunca deixarem faltar incentivo em toda minha trajetória.

A minha amada, Juliana, pelo carinho, amor e preocupação em todos os momentos dedicados aos meus estudos.

Aos meus estimados amigos do curso de Engenharia Civil, com quem eu vivi nesta fase e que se tornaram parte de mim para toda vida.

Ao professor Eduardo Cabral pela orientação, apoio e compreensão na conclusão deste trabalho.

Aos síndicos e proprietários de estabelecimentos pela ajuda em ceder os locais destinados aos pontos de coleta.

Agradeço especialmente ao amigo Felipe, pela ajuda, compreensão, esforço realizado e pela honra de tê-lo em minha banca.

Ao professor Augusto Teixeira, por ter aceitado participar da minha banca e por contribuir neste passo final da minha formação.

Ao Caio Sanders, pela força e ajuda no desenvolvimento inicial da minha pesquisa.

Obrigado a todos que somaram para a conclusão deste trabalho e para minha formação como Engenheiro Civil.

RESUMO

A degradação das estruturas construídas em ambientes marinhos pode ocorrer com maior velocidade quando comparadas a outros locais longe do oceano. Os critérios de resistência, durabilidade e economia aos quais a estrutura é concebida influenciam significativamente neste processo. A ocorrência de manifestações patológicas em ambientes marinhos ocorre pela forte influência de cloretos dispersos na atmosfera, em conjunto com as condições climáticas e atmosféricas que propiciam à ação deletéria desses agentes agressivos, a corrosão de armaduras presentes no concreto armado poderá ser desencadeada de forma facilitada, levando as estruturas ao declínio. Este trabalho tem o objetivo de analisar o teor da deposição de íons cloreto na Praia de Iracema, em Fortaleza-CE, em relação à distância ao mar, empregando o método da vela úmida e a avaliação dos parâmetros climatológicos da região analisada. Os resultados encontrados mostraram que os teores de cloretos dispersos no ar decrescem à medida que se distancia do mar, isto foi influenciado por características atmosféricas tais como vento e precipitação e também pela numerosa quantidade de edifícios presentes na região. A modelagem matemática retornou uma função exponencial que apresentou teores de cloreto para os primeiros 100 metros em torno de 256, 19 ($\text{mg}/(\text{m}^2.\text{d})$), diminuindo gradualmente até os últimos metros analisados. Além disso, fez-se um comparativo com outras capitais nordestinas e também com a Praia do Futuro localizada em Fortaleza-CE, verificando-se que das localidades analisadas a Praia de Iracema apresenta-se como a segunda região com maiores teores de íons cloreto presentes no ar atmosférico, sendo uma região agressiva às estruturas de concreto.

PALAVRAS-CHAVE: íons cloreto, corrosão de armaduras, vela úmida.

ABSTRACT

The degradation of structures built in marine environments may occur with greater speed when compared to other places far from the ocean. The criteria for strength, durability and economy to which the structure is designed significantly influence this process. The occurrence of pathologies in marine environments occurs by the strong influence of chloride dispersed in the atmosphere, together with the climatic and atmospheric conditions that lead to the deleterious action of these aggressive agents, corrosion of reinforcement present in the concrete can be triggered in an easier way, structures leading to the decline. This study aims to analyze the content of the deposition of chloride ions in Praia de Iracema in Fortaleza, in relation to the distance to the sea, using the wet candle method and evaluation of climatological parameters of the analyzed region. The results showed that the levels of chloride dispersed in the air, decrease as moves away from the sea, this was influenced by atmospheric features such as wind and precipitation and also by the large number of buildings in the region. Mathematical modeling, returned an exponential function showed that chloride contents for the first 100 meters around 256, 19 (mg / (m². D)), gradually decreasing until the last meters analyzed. Furthermore, a comparison is made with other northeastern capital and also the Praia do Futuro located in Fortaleza, verifying that the localities analyzed the Iracema Beach presents itself as the second region with higher concentrations of chloride ions present in atmospheric air, being a region aggressive to concrete structures.

KEYWORDS: chloride ions, reinforcement corrosion, wet sail.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Formação da pilha eletroquímica.....	24
Figura 2 - Zona de Agressividade às estruturas de concreto	28
Figura 3 - Vela úmida.....	36
Figura 4 - Disposição das velas úmidas.....	38
Figura 5 - Vela úmida a 100m do mar.....	39
Figura 6 - Vela úmida a 240m do mar.....	39
Figura 7 - Vela úmida a 400m do mar.....	40
Figura 8 - Vela úmida a 880m do mar.....	40
Figura 9 - Vela úmida a 1460m do mar.....	41
Figura 10 - Velas úmidas.....	42
Figura 11 - Direção predominante dos ventos.....	45
Figura 12 - Deposição de íons cloreto (08/mai a 08/jun)	47
Figura 13 - Deposição de íons cloreto (11/jun a 11/jul).....	48
Figura 14 - Deposição de íons cloreto (13/jul a 13/ago)	48
Figura 15 - Deposição média de íons cloreto no período de análise (08/mai a 13/ago).....	49
Figura 16 - Deposição de cloretos em Boa Viagem - Recife/PE.....	50
Figura 17 - Deposição de cloretos em João Pessoa - PB.....	51
Figura 18 - Deposição de cloretos em Salvador - BA	52
Figura 19 - Deposição de cloretos em Fortaleza (Praia do Futuro) - CE	53
Figura 20 - Deposição de íons cloreto – Comparativo	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classe de agressividade ambiental	14
Quadro 2 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto.....	19
Quadro 3 - Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm	20
Quadro 4 - Resumo das características climatológicas	43
Quadro 5 - Resumo da concentração de cloretos no período analisado	44
Quadro 6 - Resultados obtidos em Boa Viagem, Recife-PE	50
Quadro 7 - Resultados obtidos em João Pessoa-PB	51
Quadro 8 - Resultados obtidos em Salvador-BA.....	52
Quadro 9 - Resultados obtidos na Praia do Futuro em Fortaleza-CE.....	53
Quadro 10 - Deposição de cloretos - Comparativo	54
Quadro 11 - Comparativo de agressividade – Praia de Iracema e capitais nordestinas	56
Quadro 12 - Comparativo de agressividade – Praia de Iracema e Praia do Futuro.....	56

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Importância e Justificativa do tema	12
1.2	Objetivos	16
1.2.1	Objetivo geral	16
1.2.2	Objetivos específicos	16
1.3	Estrutura do trabalho	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	Qualidade do concreto	18
2.2	Causas de degradação	21
2.3	Corrosão da armadura	22
2.3.1	Corrosão	22
2.3.2	Tipos de corrosão	23
2.3.3	Ataque de íons cloreto	25
2.3.4	Mecanismos de transporte dos íons cloreto	27
2.4	Origem e caracterização dos íons cloreto	28
2.4.1	Zona de atmosfera marinha	28
2.4.2	Formação, transformação e transporte do aerossol marinho	29
2.4.3	Fatores que influenciam o transporte/ deposição do aerossol marinho	30
2.4.3.1	Vento	30
2.4.3.2	Precipitação	30
2.4.3.3	Umidade	31
2.4.3.4	Temperatura	31
2.4.3.5	Altitude	32
2.4.3.6	Distância em relação ao mar	32
2.4.3.7	Influência dos materiais do concreto	33
3	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	36
3.1	Determinação de teor de íons cloreto no ar atmosférico	36

3.2	Localização do ambiente	38
3.3	Preparação das velas úmidas e procedimento de amostragem.....	41
3.4	Caracterização climatológica do ambiente	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1	Parâmetros climatológicos	44
4.2	Deposição de íons cloreto	47
4.2.1	Comparação com outros resultados	49
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	58
5.1	Conclusões	58
5.2	Sugestões	59
	REFERÊNCIAS	60
	ANEXOS	62

1 INTRODUÇÃO

1.1 Importância e Justificativa do tema

Com avanço das civilizações, acompanhado da evolução dos grandes centros urbanos e o crescimento da população, o número de edificações concebidas aumentou significativamente, principalmente com o desenvolvimento do comércio marítimo que visava atender as trocas comerciais entre as diversas nações. Com isso, viu-se a necessidade do aprimoramento das técnicas construtivas e consequentemente o melhor conhecimento dos materiais e suas aplicabilidades, visando à busca pela otimização da qualidade e do ritmo de produção. No entanto, embora o homem já venha a muito tempo estudando e aprimorando muitos princípios construtivos, sabe-se que existe uma série de limitações, que somadas às imperfeições construtivas podem levar as estruturas ao declínio.

Na transição cronológica da década de 1960 para 1970, sentiu-se a necessidade da criação de projetos que atendessem não só a requisitos de resistência, mas também a critérios referentes à durabilidade e economia (SOUZA & RIPPER, 1998). As estruturas concebidas em torno de 40 anos atrás levavam em consideração principalmente o caráter robusto das peças, desconsiderando outros fatores de suma importância.

Foi pensando nessa ótica que os projetistas resolveram dar ênfase a conceitos referentes à durabilidade e à economia de materiais. Com o avanço e o desenvolvimento da engenharia, houve significativas evoluções nos métodos de cálculo, levando os engenheiros a desenvolverem estruturas mais esbeltas e que atendessem a uma série maior de exigências. No entanto, em paralelo a isso, surgiram estruturas menos duráveis.

A durabilidade de uma estrutura está relacionada com o período que ela consegue desenvolver um desempenho satisfatório, atendendo com o uso a requisitos mecânicos e estéticos (NBR 6118, ABNT 2007). A deterioração das estruturas está intimamente ligada a diminuição da durabilidade, esse fenômeno pode ser provocado por falhas de projeto, negligência nos processos de execução, uso de maneira errônea, falta de manutenção e ataques por agentes agressivos provenientes do meio ambiente ao qual a estrutura estará inserida.

Segundo Souza e Ripper (1998) a vida útil de uma estrutura é o período durante o qual suas propriedades permanecem acima dos limites mínimos especificados. Portanto, há uma ligação direta entre vida útil e durabilidade, pois construções duráveis implicam na adoção de um conjunto de decisões e procedimentos que garantam um bom desempenho ao

longo da vida útil da construção. A falta de atendimento a algum requisito que garanta estruturas duradouras provoca um processo acelerado de redução de vida útil e com isso pode provocar o colapso de peças estruturais. Um exemplo disso são as estruturas localizadas em ambientes marítimos, pois além de estarem sujeitas a fatores climatológicos diferenciados, como exemplo a força e a direção das rajadas de vento, ainda estabelecem contato direto com os elementos químicos agressivos dispersos na atmosfera provenientes do oceano.

Logo, é importante que os projetos estruturais levem em conta fatores relacionados à capacidade de carga e à durabilidade, pois estes refletem diretamente nos custos do projeto e evitam que gastos elevados e não previstos apareçam em etapas posteriores.

Em meio a inúmeras considerações a serem adotadas na criação de um projeto, a agressividade ambiental do meio ao qual ele está inserido e uma boa escolha dos materiais que irão integrá-lo são de suma importância para um correto dimensionamento.

A antiga norma brasileira NB 01 – Cálculo e execução de obras de concreto armado, publicada em 1940 e com revisões em 1960 e 1978, já estabelecia alguns requisitos mínimos referentes à qualidade durante a construção. Esta norma fixava o cobrimento mínimo de armaduras em algumas peças estruturais, taxa de consumo mínimo de cimento a cada metro cúbico de concreto, tipo e quantidade de água de amassamento. No entanto, houve o desmembramento do escopo desta norma gerando outras.

A NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, com publicação em 2003 e nova revisão em 2007, foi originada da NB 01, sendo a norma brasileira pioneira a considerar parâmetros referentes à resistência de projeto em conjunto com o ambiente de inserção das estruturas. Esta norma define que as estruturas de concreto devem atender aos requisitos mínimos de qualidade, durante sua construção ou serviço. Um dos parâmetros referentes à qualidade é a durabilidade. Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2007), este critério consiste na capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas.

A durabilidade está em parte ligada às condições ambientais (agressividade do meio e fatores climatológicos), ou seja, quando se conhece quão agressivo é o ambiente, idealiza-se os materiais que serão utilizados nas estruturas, bem como as proporções que eles serão combinados.

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2007), a agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas de concreto.

Segundo esta mesma norma, as classes de agressividade ambiental foram divididas em quatro patamares, classe de I a IV, enumeradas em ordem crescente, ou seja, a classe I define uma estrutura projetada para um ambiente com atmosfera pouco agressivo, com baixo teor de elementos que causam manifestações patológicas. Já a classe IV preconiza um ambiente agressivo, localizado em regiões industriais ou marítimas, com parte da atmosfera constituída por impurezas que quando incorporadas ao concreto e posterior alcance das armaduras, podem causar corrosão. O Quadro 1, classifica os ambientes e as condições que as estruturas de concreto devem ser projetadas.

Quadro 1 - Classe de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1), 2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾	Grande
		Industrial ^{1), 2)}	
IV	Muito forte	Industrial ^{1), 3)}	Elevado
		Respingos de maré	

1) Pode se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

2) Pode se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

3) Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2007).

Na verdade, não há uma definição objetiva por partes dos calculistas que permita o enquadramento dos projetos dentro de uma classe exata. Por exemplo, para estruturas localizadas perto da orla marítima, existem possibilidades da escolha da classe III (região marinha) influenciada pela névoa salina proveniente da interação do vento com o oceano, como também da classe IV (respingos de maré). Esta decisão é arbitrada em conjunto pelo

projetista que conceberá a estrutura, juntamente com o incorporador, sendo que uma correta escolha de uma determinada classe implicará numa economia de materiais, uma boa redução de custos que seriam aplicados à obra, além de propiciar uma elevada vida útil à estrutura.

Levando em consideração a classe de agressividade ambiental juntamente com alguns critérios de dimensionamento, têm-se a previsão da velocidade que as peças estruturais irão deteriorar-se. Em ambientes onde o teor de salinidade é elevado, caso a estrutura não tenha sido concebida levando em conta os padrões exatos de dimensionamento, qualidade e execução, a vida útil dos materiais poderá sofrer uma considerável redução, pois a concentração de agentes patológicos é elevada, fazendo com que o desempenho de peças estruturais seja reduzido. Em função disso, a classe para estes ambientes exige, por exemplo, que os cobrimentos de armaduras sejam maiores que em outros locais, isso garante uma maior proteção contra agentes agressivos provenientes do meio ambiente.

Segundo Helene (1986) as regiões de atmosfera marinha são caracterizadas por estarem ao ar livre, sobre o mar e perto da costa, estes locais dispõem de uma composição variada por diversos sais, entre eles, por exemplo, têm-se o cloreto de sódio. Segundo este autor, alguns elementos presentes nesta atmosfera, são extremamente agressivos e contribuem significativamente para o processo de corrosão das armaduras, chegando a acelerá-lo 30 a 40 vezes mais que numa atmosfera pura (sem agentes agressivos).

Pontes (2006) afirma que a agressividade do ambiente devido ao transporte e deposição de cloreto pode ser o desencadeador do processo de corrosão de armaduras nos ambientes de atmosfera marinha. Portanto é imprescindível que a agressividade do meio onde a estrutura será locada seja caracterizada.

Silva (2011) sugere que o teor de íons cloreto no ar atmosférico, poderia ser utilizado como um novo critério para projetos estruturais em zonas com influência da salinidade marinha, sendo que um correto enquadramento dentro da real classe de agressividade ambiental pouparia custos elevados em períodos futuros.

Para a cidade de Fortaleza, esta aceitação teria bons ganhos, pelo fato da existência de grandes investimentos imobiliários na região de sua orla marítima. No entanto, sabe-se que nem todas as regiões apresentam as mesmas concentrações de íons cloreto na atmosfera. Os teores são influenciados por fatores climatológicos e topográficos que variam dependendo da localidade.

Silva (2011) realizou experimentos na Praia do Futuro na cidade de Fortaleza, tendo encontrados elevados valores de concentração de íons cloreto dispersos na atmosfera. Logicamente, por tratar-se de valores elevados, a caracterização do teor de íons cloreto nesta

zona foi de extrema relevância. Através desta análise foi possível saber quão agressivo é o ar atmosférico daquele local e paralelamente a isso, conhecer a gravidade dos danos que as estruturas podem sofrer quando expostas ao meio ambiente.

Como expansão do trabalho realizado pelo autor supracitado, decidiu-se fazer uma caracterização atmosférica para a Praia de Iracema, também na cidade de Fortaleza. Embora esta região seja um ambiente onde a concentração de estruturas de concreto ocorra de maneira acentuada, ainda pode-se constatar a existência de muitas construções. Ao mesmo tempo em que é de interesse saber se a concentração de íons cloreto na Praia de Iracema apresenta valores aproximados com a Praia do Futuro e assim efetuar-se o estabelecimento de um comparativo.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em avaliar o teor de íons cloreto na atmosfera marinha em relação à distância ao mar na Praia de Iracema, empregando o método da vela úmida.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Caracterizar climatologicamente a região em análise durante os meses de implantação da vela úmida.
- b) Comparar os diversos parâmetros atmosféricos, como temperatura, vento e umidade, com a concentração de íons cloreto obtida no ar atmosférico.
- c) Modelar matematicamente a deposição de íons cloreto em função da distância em relação ao mar na região analisada.
- d) Comparar o teor de íons cloreto na Praia de Iracema com a Praia do Futuro, ambas em Fortaleza, e também com outras praias do Nordeste brasileiro.

1.3 Estrutura do trabalho

O trabalho está dividido em cinco capítulos.

No Capítulo 1 são apresentadas a importância e justificativa do tema e os objetivos.

No Capítulo 2 há uma discussão acerca das características do ambiente marítimo, dando importância ao processo de formação e transporte da névoa salina. Ademais, são avaliados os elementos que influenciam a deposição de íons cloreto nas estruturas de concreto. O capítulo também traz explicações sobre a corrosão de armaduras devido aos íons cloreto e as exigências da NBR 6118 (ABNT, 2007) e NBR 12655 (ABNT, 2006) em relação à durabilidade de estruturas de concreto armado em zona sob influência do oceano.

O Capítulo 3 traz todo o método empregado, onde são apresentados os passos para a obtenção do teor de íons cloreto, desde a montagem e instalação das velas úmidas, bem como da análise das amostras coletadas.

No Capítulo 4, os resultados obtidos são apresentados e discutidos levando em consideração os registros climatológicos obtidos, relacionando-os com outros registros coletados na bibliografia.

No Capítulo 5 apresentam-se as considerações finais e recomendações para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Qualidade do concreto

No início do surgimento das civilizações, sempre houve a preocupação do homem com a construção de edificações estruturais que atendessem às suas necessidades. Tendo em vista que o desenvolvimento das nações se acelerou com a revolução industrial, houve a necessidade premente de melhoria da qualidade dos materiais utilizado nas construções.

Sabe-se que a construção civil é uma atividade que abrange uma grande diversidade de serviços, técnicas e materiais. Entre os materiais mais utilizados neste meio, têm-se o concreto.

Historicamente, a difusão e uso constante do concreto no Brasil, teve ponto de partida em 1950. Com o advento da saída da população das localidades rurais em busca de novas alternativas de vida, houve o surgimento dos grandes centros urbanos.

O desenvolvimento urbano está intimamente acompanhado por aceleração de investimentos. A criação de habitação e obras de infraestrutura acaba por demandar um uso mais acentuado do concreto nas suas composições.

No entanto, embora o uso do concreto seja largamente difundido, pela sua fácil aplicabilidade e algumas propriedades favoráveis, o mesmo possui diversas particularidades, importâncias que levaram a criação de uma verdadeira revolução na arte de construir e que devem ser avaliadas com bastante critério. Dentro de um mesmo plano de relevância, devem ser levados em consideração o cálculo, detalhamento, elaboração de planos construtivos, seleção de materiais e outras atividades relacionadas à gestão de empreendimentos.

Segundo Souza e Ripper (1998) o concreto é um material instável ao longo do tempo, alterando suas propriedades físicas e químicas em função de suas características e do ambiente ao qual ele está submetido. Ou seja, para que o concreto venha a desenvolver um desempenho satisfatório ao longo de um período, uma série de fatores deve ser levada em consideração, entre eles as características atmosféricas ao qual a estrutura estará submetida.

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2007), uma estrutura é dita durável, quando ela apresenta uma boa resistência as influências ambientais previstas durante a sua vida útil, mantendo as suas características estruturais e estéticas.

Segundo esta mesma norma, desempenho, por sua vez, está ligado à capacidade da estrutura manter-se em condições plenas de utilização. Para que a estrutura desenvolva um desempenho relevante, não deve haver danos que a prejudiquem para o fim ao qual foi concebida.

Souza e Ripper (1998) defendem que os agentes de deterioração presentes na atmosfera do meio ambiente podem ocasionar comportamentos diferentes nos diversos componentes do concreto armado, assegurando a forma e a velocidade de deterioração, garantindo o aparecimento de patologias que ao longo do tempo com uma intensidade variável afetam à durabilidade estrutural.

O Quadro 2, apresenta parâmetros para a qualidade do concreto, levando em consideração o ambiente em que será implantada a estrutura.

Quadro 2 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de Concreto	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$
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: NBR 6118 (ABNT, 2007).

O concreto armado é caracterizado pelo uso do concreto propriamente dito (agregados e aglomerantes), aço e fôrma. O espaço compreendido entre a face da armadura mais exposta e a parte externa da peça estrutural chama-se cobrimento de armadura. O objetivo da existência do cobrimento é garantir que a armadura do concreto armado, não apresente contato direto com o meio ambiente externo. Sendo a atmosfera mesclada por agentes de deterioração que provocam a corrosão da armadura e outras patologias, o cobrimento torna-se indispensável para a proteção da estrutura, pois ele atua como um impeditivo para ataques de agentes agressivos na armadura.

A NBR 6118 (ABNT, 2007) associa as classes de agressividade ambientais com os cobrimentos mínimos a serem adotados para peças de concreto (armado ou protendido) conforme apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 - Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal para $\Delta c = 10 \text{ mm}$

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV ³⁾
		Cobrimento nominal (mm)			
Concreto Armado	Laje ²⁾	20	25	35	45
	Viga / Pilar	25	30	40	50
Concreto Protendido ¹⁾	Todos	30	35	45	55

NOTAS

1) Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão, fragilizante sob tensão.

2) 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 tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros tantos, as exigências desta tabela podem ser substituídas por 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal $\geq 15 \text{ mm}$.

3) Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobrimento nominal $\geq 45 \text{ mm}$.

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2007).

Silva (2011), atenta para o fato de que outras normas brasileiras também focam acerca da qualidade do concreto com a finalidade de garantir a durabilidade de uma futura estrutura, como exemplo da NBR 12655 (ABNT, 2006), a qual é aplicável aos concretos de cimento Portland para estruturas moldadas nos canteiros de obras, estruturas pré-moldadas e componentes estruturais pré-fabricados para edificações e estruturas de engenharia em geral. Também a NBR 14931 (ABNT, 2004), que está ligada aos procedimentos e requisitos gerais necessários para a execução de obras em concreto, cujos projetos foram elaborados de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2007).

A garantia de um sistema estrutural que alcance um desempenho satisfatório e tenha uma considerável durabilidade, está diretamente ligada aos materiais ou elementos utilizados na construção, a manutenção preventiva e corretiva fornecida periodicamente, aliada ao meio ambiente ao qual a estrutura está inserida.

2.2 Causas de degradação

Souza e Ripper (1998) afirmam que o surgimento de problema patológico em dada estrutura indica, em última instância e de maneira geral, a existência de uma ou mais falhas durante a execução de uma das etapas da construção ou até mesmo dentro do período de utilização.

Estes mesmos autores afirmam que ao se analisar uma estrutura de concreto “doente” é absolutamente necessário entender-se o porquê do surgimento e desenvolvimento da doença, buscando esclarecer as causas, antes da prescrição e consequente aplicação do remédio necessário. Este conhecimento é importante para que se possam prover medidas de reparação e garantir a eficiência dos reparos mediante situações similares. Os motivos pelo qual uma estrutura é degradada podem ser provenientes de alguns fatores, tais como falhas humanas, ações externas e causas naturais.

As falhas humanas podem ocorrer durante a fase de projeto, na execução ou até mesmo na utilização, pois as estruturas após serem concebidas e executadas sendo obedecidos todos os requisitos técnicos, necessitam de manutenções preventivas e corretivas durante todo o seu período de uso.

As ações externas podem ser exemplificadas com a ocorrência de eventuais choques de veículos, recalques de fundação, acidentes imprevisíveis, variações de temperatura, insolações e atuação da água.

Causas naturais são aquelas que são inerentes ao próprio material concreto e à sua sensibilidade ao ambiente e aos esforços solicitantes, não resultando, portanto, de falhas humanas ou de equipamentos. As causas naturais podem ser divididas em químicas, biológicas e próprias à estrutura do concreto.

Pode-se citar como causas químicas:

- Reações internas ao concreto: estas podem ser caracterizadas por interações entre agregados e os componentes hidratados dos cimentos, podendo ser classificadas como reações alcalis-agregados, álcalis-dolomita e reações entre rochas caulinizadas ou feldspatos calco-sódicos.
- Expansibilidade de certos constituintes do cimento: caracterizada pela expansão de alguns elementos constituintes do cimento, como por exemplo, o óxido de magnésio (MgO) e a cal livre. Esta expansão

provoca a fissuração das peças estruturais e a manifestação de problemas patológicos no concreto.

- Presença de cloreto que podem ser adicionados involuntariamente através de águas de amassamento ou agregados contaminados, e também por meio da penetração de íons livres na atmosfera.
- Presença de ácidos e sais no concreto que provocam a formação de produtos solúveis e degradam o interior do concreto.
- Presença de anidrido carbônico presente na atmosfera que reduz o pH do concreto provocando a carbonatação.
- Presença de água que provoca a dissolução do hidróxido de cálcio reduzindo o pH e desagregando o concreto.
- Elevação da temperatura interna do concreto que pode provocar um estado de fissuração.

Sousa e Ripper (1998) afirmam que os processos biológicos podem resultar do ataque químico dos ácidos (produção de anidrido carbônico) gerado pelo crescimento de raízes de plantas ou de algas que se instalem em fissuras do concreto, ou por ação de fungos, ou pela ação de sulfetos presentes no esgoto provocando o amolecimento da pasta de cimento.

Segundo estes mesmo autores quando se falam em causas próprias as estruturas, há uma ligação direta com a estrutura porosa do concreto, quanto mais permissivo um concreto for ao transporte interno de líquidos, gases e outros agentes agressivos, maior será a probabilidade da sua degradação, pois a porosidade do concreto e as condições ambientais de superfície são os principais agentes que influenciam no surgimento de manifestações patológicas.

2.3 Corrosão da armadura

2.3.1 Corrosão

Segundo Moema (1985) a corrosão é genericamente o processo pelo qual partes de um material são removidas devido a uma reação química.

Segundo este mesmo autor, a substância de um material reage com uma substância proveniente do meio de inserção, e é removida como parte de um composto químico resultante.

Para Gemelli (2001), a corrosão se manifesta através de reações químicas irreversíveis acompanhadas da dissolução de um elemento químico do material para o meio corrosivo. Sempre que um elemento químico perde ou cede um ou mais elétrons, ele se oxida.

A corrosão dos elementos químicos que formam um determinado sistema estrutural tem se tornado um dos tipos mais corriqueiros de deterioração que agride a durabilidade de uma estrutura. Os materiais que são deteriorados certamente sofrem graves mudanças na sua composição, isso ocasiona alterações físicas e químicas, fazendo com eles se tornem inutilizáveis.

A formação de óxidos de natureza expansiva, provocados pela corrosão de armaduras no concreto armado, pode levar ao aparecimento de diversas patologias. Entre elas, podemos destacar o fenômeno do lascamento, que nada mais é que o destacamento da camada de revestimento na peça concretada. Além disso, as tensões internas geradas pelo aumento de volume desses produtos que são frutos da corrosão podem fissurar as estruturas de concreto, favorecendo a penetração de agentes de natureza agressiva provenientes do meio ambiente.

Portanto, quando as estruturas de concreto possuem as suas armaduras submetidas a processos corrosivos, uma série de problemas podem ser gerados. Com a degradação, há uma gradual perda de funcionalidade e uma diminuição no desempenho. Com isso, acaba por ocorrer o declínio das estruturas.

2.3.2 Tipos de corrosão

Gemelli (2001) afirma que essa transferência de elétrons pode ocorrer através de mecanismo químico, chamados de corrosão química, ou através de um mecanismo eletroquímico, chamado corrosão eletroquímica. Para a corrosão química, a transferência de elétrons se faz diretamente entre duas espécies químicas envolvidas, pois o doador e o receptor de elétrons situam-se no mesmo ponto da superfície do metal. Já para a corrosão eletroquímica, há uma transferência indireta de elétrons, isto é, há uma difusão através da superfície do sólido até o ponto onde são recebidos pelo meio oxidante.

Cascudo (1998) explica que no mecanismo eletroquímico, as etapas ocorrem no meio aquoso, com formação de uma célula de corrosão, com eletrólito e uma diferença de potencial entre os trechos superficiais do metal.

Portanto, o mecanismo de corrosão eletroquímica é caracterizado pela formação de pilhas, onde esquematicamente ocorrem reações em regiões diferentes do mesmo metal, como é o caso das armaduras no interior das peças de concreto. Sendo que o balanço entre os produtos provenientes nas reações da célula geram os elementos de corrosão.

Cascudo (1998) afirma que o princípio da corrosão é garantido com a presença de duas reações, as quais foram descritas nas equações 1 e 2:

- Zonas anódicas (corroídas): ocorrem reações de dissolução do ferro (oxidação):



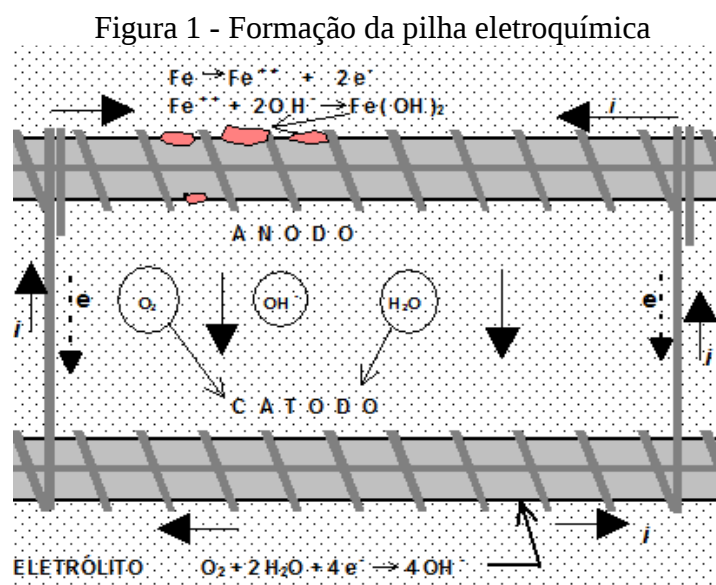
- Zonas catódicas (não corroídas): ocorrem reações de redução de oxigênio:



Através destes processos, os íons Fe^{2+} dirigem-se pelo o eletrólito rumo a região catódica e os íons hidroxila (OH^-) dirigem-se rumo a região anódica. Em um ponto intermediário estes íons se juntam, precipitam-se e dão origem ao hidróxido ferroso, conforme a Equação 3:



A Figura 1, esquematiza a formação da pilha eletroquímica no processo de corrosão de armaduras no concreto.



Fonte: Silva (2011).

A tipologia dos elementos gerados no final do processo de corrosão depende de alguns fatores climatológicos tais como temperatura e principalmente o teor de cloretos para um caso particular.

Cánovas (1988) afirma que os produtos de corrosão são compostos por uma variada gama de óxidos e hidróxidos de ferro que passam a ocupar no interior do concreto

volumes consideráveis, chegam a ocupar espaços de 3 a 10 vezes superiores aos espaços originais do aço. Segundo este autor, o processo de expansão desses produtos podem causar tensões elevadas, alcançando até 40 MPa. As tensões provocadas pela formação desses produtos produzem esforços radiais nas barras de aço do concreto, com isso, há o aparecimento de fissuras nas peças.

Silva (2011) comenta que as fissuras, por se estabelecerem ao longo da barra corroída, são classificadas como fissuras ativas progressivas, pois possuem aberturas que vão aumentando ao longo do tempo.

Gemelli (2001) afirma ainda que segundo a morfologia, a corrosão de armaduras no concreto armado de uma forma geral, pode ser classificada em:

- a) Corrosão generalizada: ocorre de uma maneira geral em toda a superfície do metal, provocando um estado corrosivo ao longo da barra no interior da peça. Este quadro provoca uma redução no diâmetro da barra e fissuração do concreto de cobrimento, com o possível lascamento, devido à produção de ferrugens de caráter expansivo.
- b) Corrosão puntiforme: ocorre apresentando desgastes pontuais ao longo da superfície da barra, esse processo acaba por gerar uma ruptura antecipada do elemento. Causada principalmente por cloretos, tornando-se uma espécie de corrosão atmosférica, também conhecida como corrosão por pites.
- c) Corrosão intergranular: processa-se entre os grãos da rede cristalina da barra. Assim, quando as armaduras são submetidas a solicitações mecânicas, sofrem ruptura frágil, impossibilitando o seu uso.
- d) Corrosão por erosão: é uma corrosão localizada que se desenvolve em consequência da erosão de películas protetoras da barra de aço pela passagem de um fluido.
- e) Corrosão devido à fragilização pelo hidrogênio: provocada pelo hidrogênio atômico que se difunde para o interior da armadura, possibilitando a fragilização e fratura da armadura.

2.3.3 Ataque de íons cloreto

Cascudo (1998) afirma que nenhum outro contaminante está tão extensivamente documentado como causador de corrosão dos metais no concreto como estão os cloretos. Conforme falado anteriormente, a forma como esses íons penetram no concreto varia em

algumas situações, podendo ser incorporados ao concreto involuntariamente, em algumas situações por meio de agregados e água de amassamento contaminado, ou até mesmo através de aditivos aceleradores de endurecimento, para esta situação, considera-se que eles foram incorporados a massa do concreto. Podem também obter penetração através de sais anticongelantes, salmouras industriais e maresia ou névoa de ambiente marinho.

Helene (1986) afirma que a grande maioria dos aditivos aceleradores de pega e endurecimento tem na sua composição cloreto de cálcio (CaCl_2). Quando este sal é dissolvido, ocorre a liberação de ânions Cl^- que destroem a película passivadora que provém do meio alcalino típico do concreto.

Segundo Gemelli (2001) os cloretos aparecem com maior intensidade em regiões marítimas. Eles estão presentes nas gotículas de água salgada transportada pelo vento que provém do oceano. Dessa forma, há uma deposição desse íon sobre as superfícies metálicas. A concentração de cloreto pode atingir $1500\text{mg/m}^2/\text{dia}$ em uma atmosfera marinha (GEMELLI, 2001).

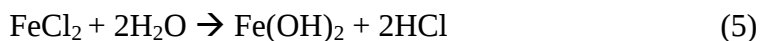
Varela (2010) classifica os cloretos presentes no concreto em três grupos distintos, são eles:

- a) Quimicamente combinados (cloroaluminatos);
- b) Fisicamente absorvidos nas superfícies dos poros;
- c) Íons livres;

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 certo teor de Cl^- livre na fase líquida do concreto (CASCUDO, 1998).

Segundo este mesmo autor, esses cloretos na forma de íons livres presentes no concreto, são os que efetivamente geram preocupação, pois o processo corrosivo se dá por influência deles. Para estruturas de concreto que são submetidas à atmosfera marinha, com a ocorrência da penetração de íons cloreto, o pH alcalino do concreto sofre alteração, ou seja, há uma diminuição, chegando a atingir valores muito abaixo da normalidade. Esta situação afeta a película passivadora da armadura e provoca o início da propagação do processo corrosivo.

As reações apresentadas nas Equações 4 e 5 apresentam como os íons cloretos alcançam à superfície do aço formando o ânodo e promovendo o cátodo à parte passivada.



Silva (2011) explica que atualmente a teoria mais aceita para a corrosão de armaduras causada pelos íons cloretos é que estes penetram no filme de óxido passivo através dos poros ou defeitos construtivos, diminuindo a tensão superficial nas interfaces e ocasionando ruptura e falhas ao longo de todo o filme.

Segundo este mesmo autor, no ânodo, os íons cloretos favorecem a hidrólise (quebra por água) do Fe, formando H^+ e Cl^- livres. O pH, então, é reduzido localmente e os íons cloretos permanecem no meio agravando o problema de forma pontual.

2.3.4 Mecanismos de transporte dos íons cloreto

Cascudo (1998) dividiu os mecanismos de transporte que levam ao movimento e concentração iônica dos cloretos em quatro processos diferentes:

- a) Absorção capilar: caracteriza-se pela absorção de soluções líquidas ricas em íons cloreto oriundas de sais dissolvidos (a exemplo da névoa salina). Geralmente esta etapa representa o passo inicial para a contaminação por impregnação externa das peças de concreto. Este fenômeno é impulsionado pelas tensões capilares que quando favorecidas pelo elevado grau de porosidade apresentado por alguns concretos podem facilitar a penetração dos agentes agressivos.
- b) Difusão iônica: caracteriza-se pela existência de gradientes de concentração iônica entre o meio externo e o interior do concreto, como o teor de umidade é mais elevado no interior das peças estruturais, as diferenças de concentrações geram o movimento dos íons a busca do equilíbrio.
- c) Permeabilidade sob pressão: caracteriza-se pelo transporte de cloretos do meio externo para o concreto por meio da pressão hidráulica, ou seja, acontecem em situações onde haja acúmulo ou contenções de águas, estruturas semienterradas com a presença de lençol freático ou em contenção de solos e para estruturas submetidas a águas correntes.
- d) Migração iônica: caracteriza-se pela movimentação de cloretos para o interior do concreto através de uma migração iônica. Esse processo é gerado através do campo oriundo da corrente elétrica do processo eletroquímico, uma vez que os íons cloreto são dotados de carga elétrica negativa.

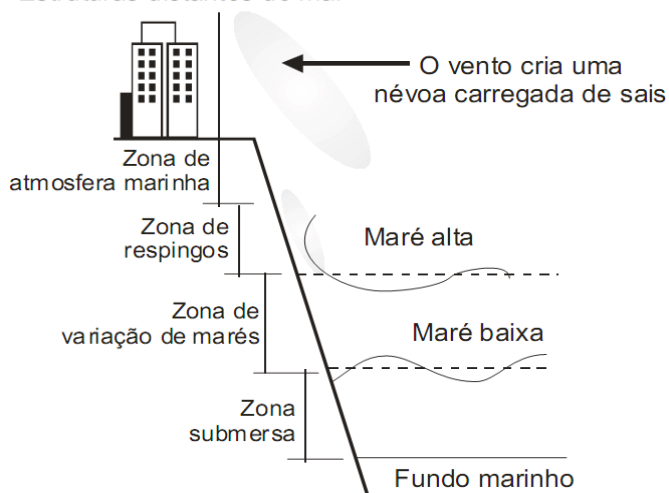
Silva (2011) explica que a corrosão por íons cloreto envolve muitos fatores, os quais devem ser analisados detalhadamente, considerando todo o meio em que a estrutura está construída e também a forma como os agentes agressivos chegam até as peças estruturais.

2.4 Origem e caracterização dos íons cloreto

2.4.1 Zona de atmosfera marinha

Consideram-se as regiões ao ar livre, sobre o mar e perto da costa, com uma quantidade significativa de cloretos de sódio e de magnésio, quer em forma de cristais, quer em forma de gotículas de água salgada (HELENE, 1986). Esses elementos possuem uma agressividade às estruturas de concreto em proporções consideráveis, são grandes responsáveis pela aceleração dos processos de corrosão das armaduras, mesmo que em pequenas quantidades. A deterioração de estruturas de concreto em ambientes marinhos é um problema que abrange diversas regiões do mundo, inclusive tem trazido graves impactos econômicos. Duracrete (1999) dividiu este ambiente, conforme a Figura 2:

Figura 2 - Zona de Agressividade às estruturas de concreto
Estruturas distantes do mar



Fonte: Duracrete (1999).

- a) Zona de atmosfera marinha: nesta região o concreto está sujeita a uma quantidade significativa de sais agressivos, provenientes do oceano, apesar de não estar em contato direto com a água. Os ventos exercem um papel importante no transporte destes sais, tanto como partículas sólidas como gotículas de solução salina. Além disso, há um decréscimo da concentração de

sais presentes na estrutura à medida que avançamos para o interior do continente.

- b) Zona de respingos: nesta região existe a ação direta do mar, devido às ondas e aos respingos que atingem a estrutura.
- c) Zona de variação de marés: nesta região existe uma fronteira entre as alturas máximas e mínimas apresentadas pelas marés. A deterioração das peças de concreto provém da ação de sais agressivos que provocam a corrosão das armaduras, que também são afetadas pela ação das ondas e microrganismos.
- d) Zona submersa: nesta região a estrutura encontra-se afogada. A deterioração ocorre pela ação de sais agressivos (sulfato e magnésio) que também fazem da composição da água dos oceanos, sendo compartilhada também pela ação de microrganismos que ocasionam corrosão biológica.

Como se verifica então, apesar da proximidade das regiões, cada uma apresenta uma maneira de deterioração particular. Assim, as especificações construtivas podem variar dentro de cada região, como exemplo, tem-se o cobrimento das armaduras que devem apresentar valores distintos dependendo da zona onde a peça está situada.

2.4.2 Formação, transformação e transporte do aerosol marinho

Johnson (2005) afirma que toda a formação do aerosol marinho está ligada diretamente ao movimento da água do mar. Este movimento gera pequenas bolhas que podem explodir e gerar menores partículas (gotículas).

Pontes (2006) afirma que na zona de arrebentação das ondas o processo de formação do aerosol é bastante elevado, mas em mar aberto também é possível observar a formação do aerosol, em menor intensidade, devido à influência da pressão que o vento oferta na superfície da água.

Taylor e Wu (1992), diante de estudos, classificaram as partículas dispersas na atmosfera marinha, onde d é o diâmetro da partícula:

- a) $d > 20 \mu\text{m}$ – jorro/gotículas em forma de espuma;
- b) $10 \mu\text{m} < d < 20 \mu\text{m}$ – jorro/gotículas em forma de película;
- c) $2 \mu\text{m} < d < 10 \mu\text{m}$ – gotículas em forma de película.

Zezza e Macri (1995) afirmam que, após as gotículas se formarem, ocorre um equilíbrio destas com o meio ambiente. Parâmetros climatológicos como vento, temperatura e umidade podem modificar essas pequenas gotas em cristais ou em soluções salinas de

concentrações distintas. O conjunto desses cristais e das soluções, aliados à umidade do ar, formam o aerossol marinho.

Jambo e Fófano (2008) asseguram que alguns contaminantes presentes no aerossol marinho, quando dispersos na atmosfera através dos ventos, possuem a sua ação limitada a alguns poucos quilômetros do litoral, por conta de obstáculos existentes na sua trajetória.

Assim, pode-se deduzir que a deposição dos íons cloreto à proporção que se avança para o interior do continente, depende de vários fatores, dentre eles destacam-se: fatores topográficos, temperatura, umidade relativa, precipitação, altura dos obstáculos, distância em relação ao mar, dentre outros.

2.4.3 Fatores que influenciam o transporte/ deposição do aerossol marinho

2.4.3.1 Vento

Segundo Lima Neto (2011), uma das principais consequências da atuação do vento na superfície do oceano é a geração de ondas e correntes marítimas. Quando as ondas são formadas, o vento pode influenciá-las nas suas velocidades, durações e extensões.

Gentil (1996) afirma que a deposição de partículas sólidas nas estruturas de concreto pode ocasionar a corrosão por aeração diferencial, e fatores climáticos, como a direção e força dos ventos podem trazer poluentes atmosféricos para as estruturas, acelerando o processo corrosivo. Portanto, o teor de cloretos livre na atmosfera varia em função de algumas estações climáticas anuais, já que os parâmetros climatológicos variam ao longo dos meses do ano.

Silva (2011) explica que o vento é 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.

Pontes (2006) enfatiza que o processo corrosivo das armaduras do concreto armado, com origem na formação e no transporte do aerossol marinho, assume maior importância, quando o vento que age diretamente sobre as águas do oceano consegue superar determinados valores de velocidade em seu desenvolvimento que são da ordem de 7 a 11m/s.

2.4.3.2 Precipitação

Segundo Studart (2006) a precipitação é o fenômeno atmosférico no qual a água volta a terra pela condensação do vapor d'água contido na atmosfera.

Gentil (1996) afirma que as chuvas influenciam a taxa de corrosão em atmosferas marinhas: chuvas frequentes reduzem o ataque corrosivo, pois retiram os resíduos de sais das superfícies afetadas pela deposição. Baseado nisso, pode-se concluir que regiões abrigadas, ou seja, protegidas de chuvas, podem sofrer corrosões mais intensas do que aquelas totalmente expostas à atmosfera.

Silva (2011) assegura que apesar de muitas vezes maléfica a uma estrutura, a água da chuva é fator decisivo para a diminuição da concentração de íons cloreto depositado nos elementos estruturais ou fachadas de uma edificação, uma vez que a precipitação ocasiona um processo de lavagem, retirando sais outrora presentes.

2.4.3.3 Umidade

Em geral o ar não se apresenta saturado, contendo apenas uma fração do vapor d'água possível, essa fração expressa em porcentagem é denominada umidade relativa (STUDART, 2006).

A umidade do ar é água em forma de vapor e de pequenas partículas dissolvidas que se espalham pela atmosfera.

Jambo e Fófano (2008) comentam que a corrosão atmosférica é um processo eletroquímico que ocorre em pilhas locais. Assim, é preciso a presença de um eletrólito. Tal eletrólito é formado pela condensação de água sobre a superfície metálica. O filme d'água dependerá principalmente da umidade relativa do ar, ou seja, a razão da pressão parcial do vapor d'água pela pressão de saturação.

Este mesmo autor defende que quando a umidade relativa assume valores elevados, a corrosão atmosférica aumenta proporcionalmente. Portanto, como a umidade varia em conjunto com as estações climatológicas anuais, haverá meses em que a corrosão das armaduras do concreto armado assumirá valores mais consideráveis.

Para Pontes (2006), a corrosão obtém valores elevados com o acréscimo da umidade relativa do ar, atingindo um valor máximo quando a umidade relativa está em 95%, e reduzindo a um nível mais baixo perto da saturação.

Locais por natureza mais úmidos e com maior risco de condensação apresentam sintomas de corrosão mais rápidos e intensos que em locais secos (HELENE, 1986).

2.4.3.4 Temperatura

Silva (2011) afirma que a temperatura está ligada, geralmente, de forma indireta com a disseminação de íons cloreto em estruturas de concreto, o aumento da temperatura

contribui para o processo da evaporação, aumentando a umidade e, por consequência, a precipitação.

Jambo & Fófano (2008) expressam que o aumento da temperatura, por motivos cinéticos, aumenta a taxa de corrosão atmosférica. Contudo, a partir de um determinado valor, tenderá a evaporar o filme condensado, o que cessará a corrosão atmosférica. Temperaturas baixas, abaixo do ponto de congelamento da água, propiciarão taxa de corrosão desprezível.

De um modo geral, o aumento da temperatura acelera o processo de corrosão, pois se têm a diminuição da polarização e o aumento da condutividade do eletrólito e da velocidade de difusão dos íons.

2.4.3.5 Altitude

Cipriano e Blanchard (1984) avaliaram a influência que a altitude exerce na concentração salina. O estudo destes autores concluiu que existe uma redução gradual da disseminação de íons cloreto à medida que se eleva a altitude. Isto decorre que as partículas de sais não possuem tamanhos uniformes, algumas apresentam volumes maiores, estas por sua vez, retornam à superfície do oceano ou mesmo ao nível do solo do continente, uma vez que a gravidade atua diretamente neste processo.

Desse modo, os autores concluíram que a concentração apresentava uma queda brusca nos primeiros metros próximos à costa marítima.

Barbosa et al (2003) avaliaram a concentração de cloretos nos pilares de uma edificação localizada a 700 m da costa. A estrutura era composta de 40 pavimentos, tiveram como resultado uma diminuição do teor do íon à proporção que coletavam amostras de peças mais elevadas. Ou seja, os elementos estruturais dos pavimentos inferiores eram os mais afetados pela ação dos agentes agressivos provenientes do oceano. Vê-se que em uma mesma estrutura pode haver diferentes formas e intensidades de degradação.

2.4.3.6 Distância em relação ao mar

Em João Pessoa – PB, Brasil, Meira e Padaratz (2002) locaram e instalaram cinco estações de velas úmidas para medições da concentração de íons cloreto na litoral paraibano. Assim, as cinco estações cobriram as distâncias de 10m, 100m, 200m, 500m e 1100m em relação à zona de arrebentação das ondas. Os resultados coletados no período de novembro de 2001 a março de 2002 referentes à deposição de cloretos provenientes do aerosol marinho

indicaram uma brusca redução da concentração desses íons nos primeiros 200 metros em relação ao mar.

Baseado em vários estudos, estes últimos autores criaram um modelo matemático para comparar a relação entre a distância ao mar e a deposição de íons cloreto, como se mostra na Equação 6:

$$y = ae^{-bx} \quad (6)$$

onde:

y é a deposição de íons cloreto, em $\text{mg/m}^2\cdot\text{dia}$;

x é a distância em relação ao mar;

a e b são constantes que podem assumir qualquer valor, dependendo do ambiente analisado.

Pontes (2006) realizou estudo análogo na Praia de Boa Viagem, em Recife – PE e concluiu que a deposição de cloretos dá-se de modo significativo nos primeiros 400m de distância da costa e atinge valores quase constantes a partir dos 700m do mar.

Silva (2011) realizou estudo semelhante na Praia do Futuro, em Fortaleza – CE e onde foram instaladas quatro estações que apresentavam as seguintes distâncias: 100m, 300m, 740m e 1000m. Na primeira estação houve a ocorrência de valores elevados, em média 484 ($\text{mg/m}^2\cdot\text{dia}$), na segunda estação esses teores caíram significativamente e ficaram muito próximos para as duas últimas estações.

Portanto, observa-se claramente que a concentração de cloretos decresce à proporção que se distancia da costa.

2.4.3.7 Influência dos materiais do concreto

Além de fatores externos, como é o caso dos íons cloreto que estão presentes na atmosfera marinha, os materiais que compõem o concreto e a forma como eles são aplicados também podem desencadear processos corrosivos.

Silva (2011) afirma que o transporte de substâncias agressivas no interior de uma estrutura dá-se, principalmente, pela estrutura ramificada de poros do concreto, a qual influencia diretamente a resistência e a durabilidade de uma peça estrutural.

Cascudo (1998) considera as características do concreto, tais como: tipo de cimento, relação água/cimento e tipo de agregado, os principais parâmetros que interferem no contexto da corrosão.

Para se evitar o surgimento de patologias relacionadas ao concreto, com a consequente deterioração, o cimento utilizado deve ser sempre resistente ao agente agressor ao qual se pretende combater.

Em geral, concretos produzidos com adições de escória de alto-forno ou com adições de materiais pozzolânicos tais como cinza volante ou sílica ativa, são bastante indicados para reduzir a penetração de íons cloreto, pois ambos apresentam pastas mais compactas, desenvolvendo assim importantes benefícios contra a ação deletéria de líquidos, gases e íons.

Segundo Silva (2011) a escolha dos agregados também é de extrema importância para a qualidade do concreto, pois eles desempenham características valiosas, como a redução de retração e o aumento da resistência aos esforços mecânicos.

Os agregados escolhidos na produção do concreto devem vir acompanhados de um bom controle de qualidade, pois isso além de facilitar diversos mecanismos ainda inibe o possível aparecimento de manifestações patológicas. O objetivo desta análise é verificar se não existem substâncias reativas em sua composição e garantir que se tenha uma forma e granulometria apropriada.

Areias de praia só poderão ser utilizadas em concretos não armados, pois as mesmas possuem teor alto de cloretos e outros sais, os quais podem modificar o tempo de pega e a velocidade de endurecimento do concreto (SILVA, 2011).

Segundo Souza e Ripper (1998) a água de mistura do concreto é possivelmente o material menos dispendioso, mas também é seguramente um dos mais importantes. Uma estrutura poderá desenvolver sintomas patológicos caso a água utilizada na produção do concreto não seja potável.

Assim, a água do mar não deverá ser utilizada nos concretos, pois esta possui elevadas quantidades de impurezas químicas que quando combinadas com os elementos presentes no concreto poderão desencadear processos corrosivos.

Para os aditivos deverá haver uma rigorosa análise acompanhada de uma compatibilização com todos os outros materiais que serão utilizados. Em resumo, convém que se tenha um controle de qualidade e um atestado de proveniência do aditivo a fim de se garantir uma boa execução.

Cascudo (1998) assegura que a relação água/cimento é um dos parâmetros mais importantes no contexto da corrosão, pelo fato que ela determina a qualidade do concreto, ou seja, define as características de compacidade ou porosidade da pasta de cimento endurecida.

Uma baixa relação água cimento retardará a difusão de íons cloreto e provocará uma redução nos poros e na permeabilidade tornando o concreto menos vulnerável a processos corrosivos.

Finalmente, o controle da qualidade e a seleção dos materiais utilizados na produção do concreto, uma dosagem correta, certamente influenciará na fabricação de um material seguro e com durabilidade.

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

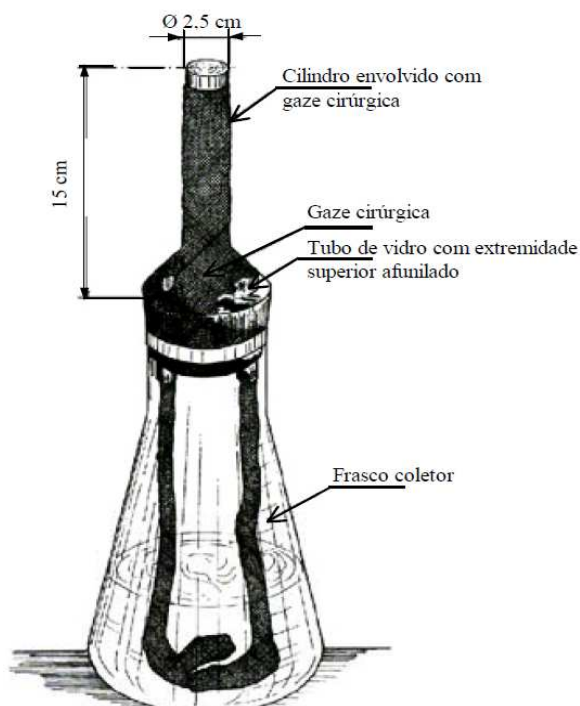
3.1 Determinação de teor de íons cloreto no ar atmosférico

Um método bastante conhecido e utilizado para determinação do teor de íons cloreto na atmosfera de um determinado local é a vela úmida. Costa (2001) foi o primeiro a fazer o uso da vela úmida no Brasil, avaliando o perfil de deposição de cloretos na região metropolitana de Salvador-BA.

A norma para o procedimento de determinação de íons cloreto proveniente do ar atmosférico por meio da vela úmida é a NBR 6211 – Corrosão atmosférica – Determinação de cloretos na atmosfera pelo método da vela úmida (ABNT, 2001).

Segundo esta norma, a vela úmida consiste em um cilindro envolvido com gaze cirúrgica e fixado a um frasco coletor por meio de uma rolha. O cilindro é constituído de material inerte como vidro ou polietileno, o frasco coletor deve ser de vidro, polietileno ou outro material inerte, com aproximadamente 800 ml de capacidade. A Figura 3, apresenta um modelo esquemático para a vela úmida.

Figura 3 - Vela úmida



Fonte: NBR 6211 (ABNT, 2001).

Para o cálculo da massa de cloreto por unidade de área, e por unidade de tempo, especificando sempre o início e o término do ensaio e o local de exposição, utiliza-se a equação 7.

$$\text{Cloreto} \left(\frac{\text{mg}}{\text{m}^2 \cdot \text{d}} \right) = \frac{2(A-B) \times M \times 35,5 \times V_T}{V_a \times S \times t} \quad (7)$$

onde:

A é o volume gasto de solução-padrão de nitrato mercúrio em mililitros;

B é o volume gasto de solução-padrão de nitrato mercúrio, em mililitros;

M é a concentração de solução-padrão de nitrato mercúrio, em molaridade;

VT é o volume total da amostra após a diluição, em mililitros;

Va é o volume de alíquota, em mililitros;

S é a área da gaze exposta, em metros quadrados;

t é o tempo de exposição, em dias.

3.2 Localização do ambiente

O estudo foi realizado na orla marítima de Fortaleza, especificamente na Praia de Iracema em Fortaleza, uma região que embora já esteja com uma elevada concentração de edificações, ainda é alvo de elevados investimentos imobiliário. Colocaram-se cinco velas, situadas a 100m, 240m, 400m, 880m e 1460m do mar, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Disposição das velas úmidas



Fonte: Google maps.

As velas úmidas foram colocadas a uma altura mínima de 1 m acima do nível do solo conforme orientações da NBR 6211 (ABNT, 2001).

As Figuras 5, 6, 7, 8 e 9 ilustram o posicionamento das velas úmidas nos pontos de coleta.

Figura 5 - Vela úmida a 100m do mar



Fonte: Próprio autor.

Figura 6 - Vela úmida a 240m do mar



Fonte: Próprio autor.

Figura 7 - Vela úmida a 400m do mar



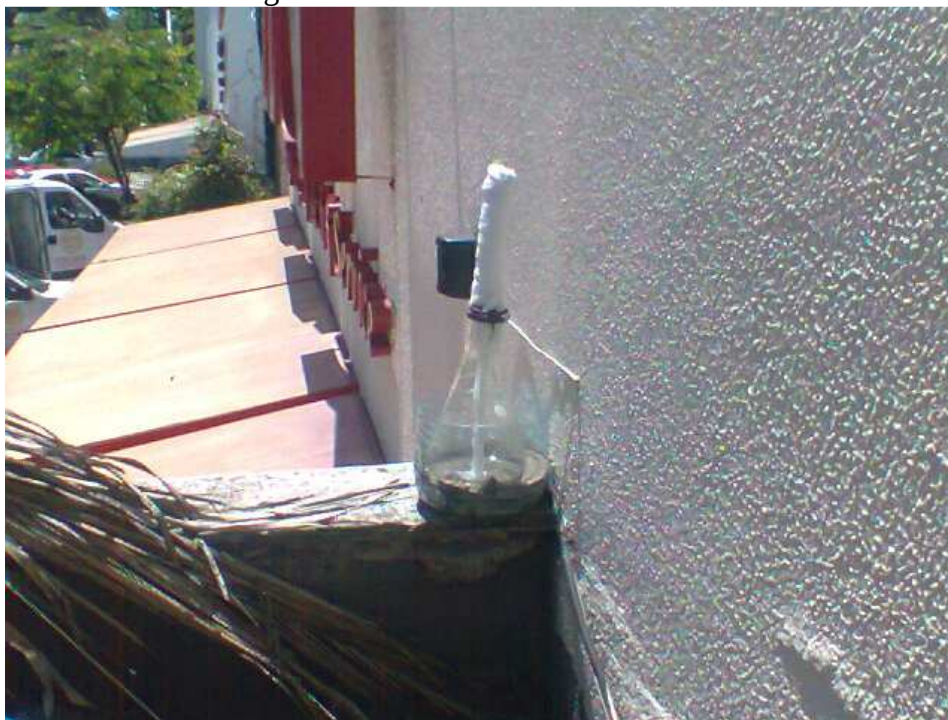
Fonte: Próprio autor.

Figura 8 - Vela úmida a 880m do mar



Fonte: Próprio autor.

Figura 9 - Vela úmida a 1460m do mar



Fonte: Próprio autor.

As medições dos teores de íons cloreto no ar atmosférico do local foram executadas segundo as recomendações da NBR 6211 (ABNT, 2001). A análise procedeu durante os meses de maio, junho, julho e agosto de 2012 e houve medições mensais, totalizando três medições para cada vela úmida no período indicado.

3.3 Preparação das velas úmidas e procedimento de amostragem

Para a preparação das velas úmidas, seguiram-se os procedimentos da NBR 6211 (ABNT, 2001). As velas úmidas utilizadas na análise foram confeccionadas com tubos de polietileno de 25x200mm, gaze cirúrgica e Erlenmayer com capacidade de 1000ml, conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10 - Velas úmidas



Fonte: Próprio autor.

Os reagentes químicos envolvidos no preparo das velas úmidas foram ácido octanóico ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$) e glicerol ($\text{CHOH}(\text{CH}_2\text{OH})_2$). Todas as velas foram numeradas de acordo com os postos de coleta. No interior dos frascos coletores foram colocados volumes em torno de 250 mL de água glicerinada, pois na época dos ensaios o clima estava propenso a elevadas perdas por evaporação.

Uma vela adicional (branco) também deve ser preparada para servir como base na determinação de íons cloreto presentes nas demais velas expostas na praia. No entanto, os valores que seriam gerados por esta vela adicional foram os valores determinados por Silva (2011).

Silva (2011) realizou a análise do teor de íons cloreto na Praia do Futuro em Fortaleza, a vela adicional foi colocada no Laboratório de Saneamento da Universidade Federal do Ceará (Labosan), pois se tratava de um ambiente livre da ação dos contaminantes.

Para o procedimento de amostragem do volume coletado pela vela úmida, seguiram-se as recomendações da NBR 6211 (ABNT, 2001). Tal procedimento encontra-se no item 3.1.4 da norma.

Para o preparo das soluções utilizadas na montagem e análise das velas úmidas bem como as titulações executadas para a determinação dos teores de cloreto foram feitos de acordo com os itens 3.2 e 4.3 respectivamente da NBR 6211 (ABNT, 2001).

3.4 Caracterização climatológica do ambiente

Os parâmetros climatológicos com seus respectivos valores do ambiente em estudo foram obtidos através de medições semanais pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Este órgão disponibiliza dados de estações automáticas meteorológicas, onde medições horárias são registradas. Os parâmetros acompanhados durante os meses da pesquisa foram a direção e velocidade dos ventos, umidade relativa, precipitação, radiação e temperatura da cidade de Fortaleza.

Os resultados encontrados para os teores de íons cloreto serão tratados juntamente com os fatores climatológicos e serão descritas as influências que possíveis variações podem provocar, fazendo com que a concentração desses íons na atmosfera varie de um período para o outro.

O Quadro 4, apresenta um resumo dos parâmetros climatológicos da região no período de análise. Os valores apresentados para a direção e força do vento, radiação, umidade relativa e temperatura foram calculados através da média entre todos os dias do período de análise. Já a precipitação foi obtida através do somatório de todos os dias do mesmo intervalo de tempo. O acompanhamento semanal dos parâmetros climatológicos durante o período de análise está no ANEXO A.

Quadro 4 - Resumo das características climatológicas

Resumo						
Período: 08 de maio de 2012 a 13 de agosto de 2012						
Período	Direção do vento	Velocidade do vento	Radiação	Umidade relativa	Temperatura	Precipitação
08/mai a 08/jun	122 °	2,53 m/s	766,34 KJ/m ²	78,60 %	27,60 °C	138,40 mm
11/jun a 11/jul	131 °	2,56 m/s	873,35 KJ/m ²	77,12 %	27,30 °C	120,40 mm
13/jul a 13/ago	124 °	3,05 m/s	872,75 KJ/m ²	71,76 %	27,16 °C	7,00 mm

Fonte: INMET (2012).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores obtidos em laboratório na determinação do teor de íons cloreto pelo método da vela úmida no período de análise para o local em questão estão apresentados descritos no Quadro 5. Os volumes de soluções que foram utilizados nos preparos e titulações seguem no ANEXO B.

Quadro 5 - Resumo da concentração de cloretos no período analisado

Concentração de Cloreto (mg/(m ² .d))					
Estação	Distância	08/mai a 08/jun	11/jun a 11/jul	13/jul a 13/ago	Média
V1	100	156,11	142,24	256,19	184,85
V2	240	113,18	104,13	179,53	132,28
V3	400	70,25	67,00	136,76	91,34
V4	880	52,82	45,22	117,23	71,76
V5	1460	45,88	36,47	110,89	64,41

Fonte: Próprio autor

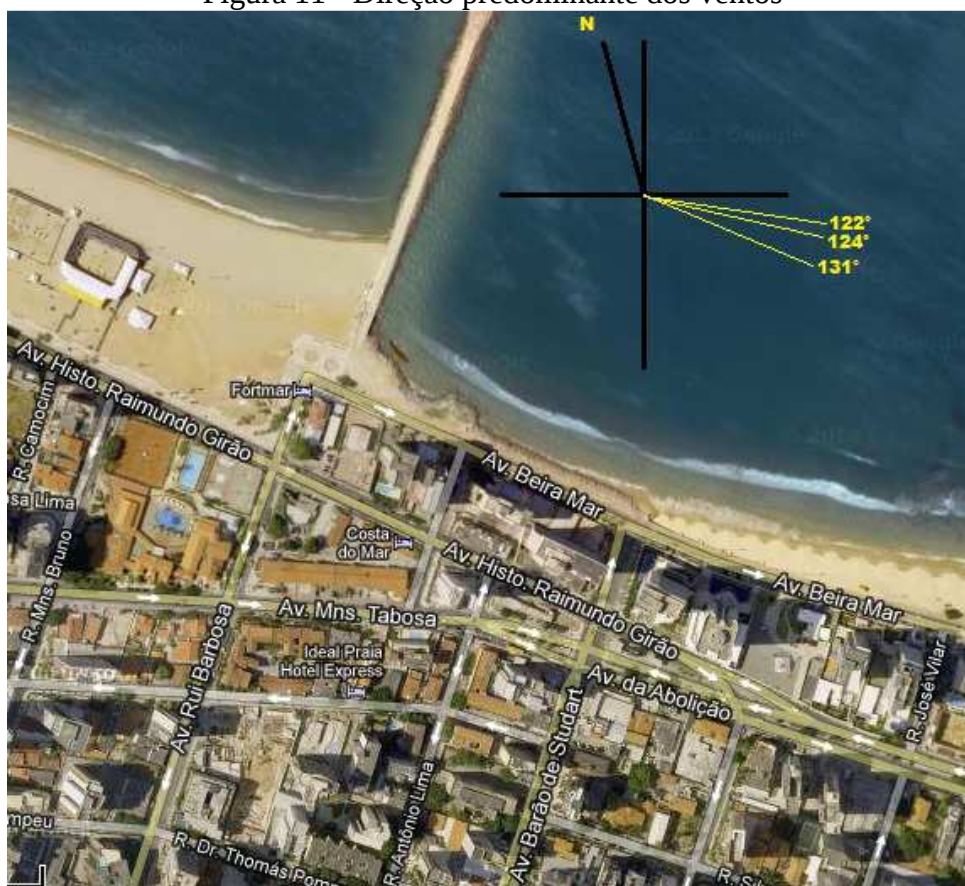
A seguir, apresentam-se as principais mudanças observadas nos parâmetros climatológicos analisados e, com isso, a possível relação que essas variações provocaram na oscilação dos teores de cloreto.

4.1 Parâmetros climatológicos

Durante o intervalo de tempo analisado, alguns parâmetros climatológicos sofreram determinadas alterações, outros se mantiveram praticamente constantes. Para o vento, as rajadas tiveram uma variação pouco significativa tanto para a direção como para a velocidade.

A velocidade do vento apresentou pequena variação, pois a menor velocidade obtida foi 2,53m/s (em maio) e a maior foi de 3,05m/s (em julho), configurando um aumento de aproximadamente 21%. Já para a direção apresentada pelas rajadas, no primeiro mês de observação teve-se uma angulação de 122°, variando para 131° no segundo período e para 124° no período final. Nota-se que esses valores apresentam pequenas diferenças, ou seja, a direção praticamente não variou. O esquema abaixo, ilustrado na Figura 11, mostra as variações nas direções predominantes.

Figura 11 - Direção predominante dos ventos



Fonte: Google maps.

A velocidade do vento apresentada nos períodos de análise comportou-se de maneira crescente, com uma diferença entre o primeiro e o último período de 20%. Vê-se que a elevação na velocidade influenciou diretamente no aumento da concentração de íons cloreto na atmosfera da região. A formação da névoa salina e a sua dispersão para o interior do continente dependem claramente dos acréscimos existente na força e velocidade dos ventos.

Quanto à direção predominante apresentada pelo vento, do primeiro para o segundo período houve uma variação de 122° para 131°. A forma como as rajadas de vento desenvolveram-se no segundo mês de análise, dispersou a névoa lateralmente, dificultando o seu consequente avanço para o continente. Já para o terceiro período, a direção predominante dos ventos assumiu uma configuração muito próxima do período inicial, isto fez com que a concentração de íons na atmosfera viesse a aumentar.

O período de análise desenvolveu-se no final da estação chuvosa, mais precisamente na transição entre o inverno e verão. Conforme se pode observar nos dados do Quadro 4, durante os dois primeiros meses a precipitação não variou significativamente e apresentou valores razoavelmente consideráveis. Acredita-se que para períodos chuvosos as estruturas são menos afetadas pela ação agressiva de íons cloreto, isto é justificado pelo fato

das chuvas atuarem nas fachadas das edificações, reduzindo o acúmulo de sais agressivos em suas superfícies.

Os valores de precipitação apresentados no período de análise mostram que para os dois primeiros meses teve-se 138,40mm e 120,40mm, com uma queda brusca para o terceiro mês, onde se teve apenas 7,00mm. O aumento no teor de íons cloreto disperso na atmosfera para o terceiro mês, também foi evidenciado pela diminuição da precipitação, pois conforme foi dito anteriormente, a escassez de chuvas provoca um aumento na concentração desses íons.

A umidade relativa avaliada no período de análise pelo INMET apresentou algumas variações. O comportamento deste parâmetro atmosférico depende principalmente da ocorrência de chuvas. Assim, nos dois primeiros meses de análise, onde a ocorrência de chuvas foi maior, a umidade relativa também apresentou valores superiores ao terceiro mês, onde a ocorrência de chuvas foi bastante escassa, apresentando, portanto coerência.

Nos período de análise, a umidade relativa do ar ficou entre 71,76% e 78,60%. Segundo Helene (1986) o mecanismo de corrosão do aço no concreto ocorre para umidades relativas superiores a 60%. Logo, os valores apresentados são favoráveis ao desencadeamento de processos corrosivos nas armaduras das estruturas de concreto da região em análise.

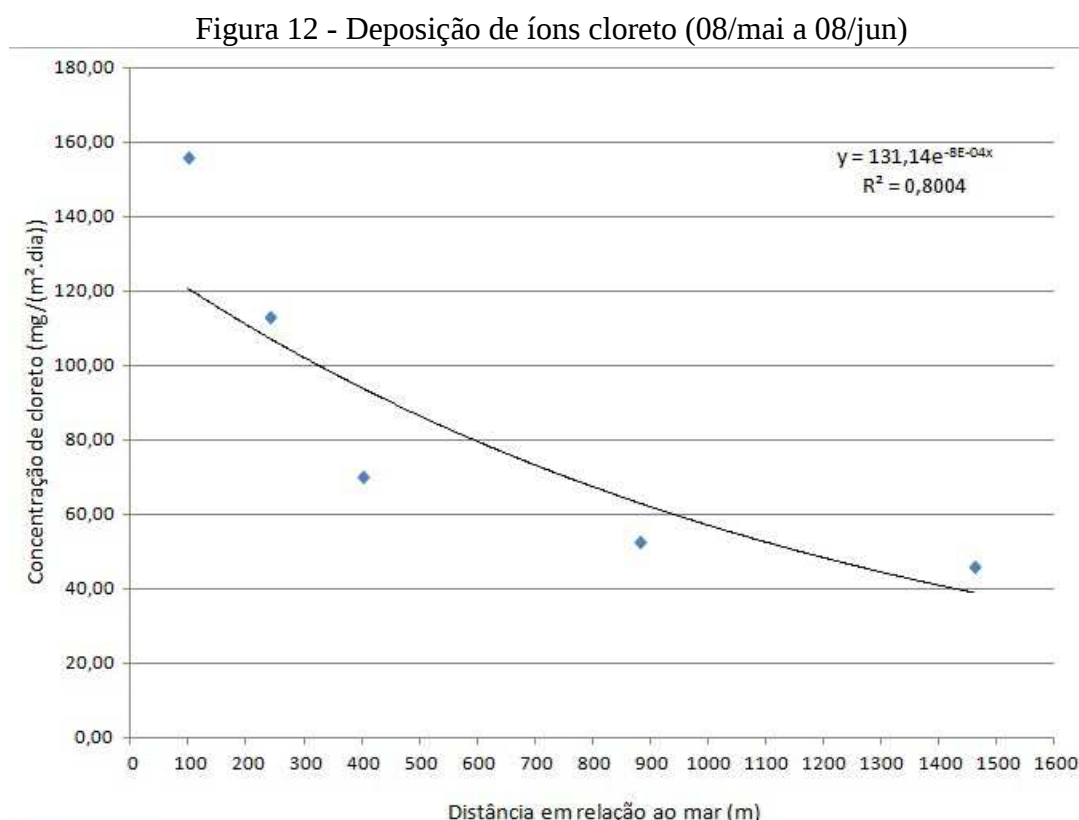
A temperatura manteve-se praticamente constante, embora os meses pesquisados estivessem dentro de uma transição entre estações climáticas (do período chuvoso para o período seco), este fator atmosférico não apresentou grandes amplitudes. Os valores de temperatura média ficaram entre 27,60°C e 21,16°C. A pequena variação não implica uma situação prejudicial ao concreto, este por sua vez só passa a ser danificado quando sujeitos a grandes variações de calor. Elevadas temperaturas provocam dilatações, retrações e outras manifestações patológicas que geram fissuras. Assim, a penetração de íons fica mais facilitada, propiciando o aparecimento de corrosão de armaduras.

A radiação age de maneira direta nos fatores atmosféricos apresentados. Como exemplo cita-se a umidade relativa que está intimamente ligada ao efeito dos raios solares. A verificação direta do efeito da radiação com a concentração de íons cloreto não foi verificada, pois a região analisada não é influenciada por efeitos de ondas ou marés, não havendo, assim, ciclos de molhagem ou secagem representativos.

A seguir, apresentam-se as concentrações de cloretos em função das distâncias em relação ao mar nos períodos analisados.

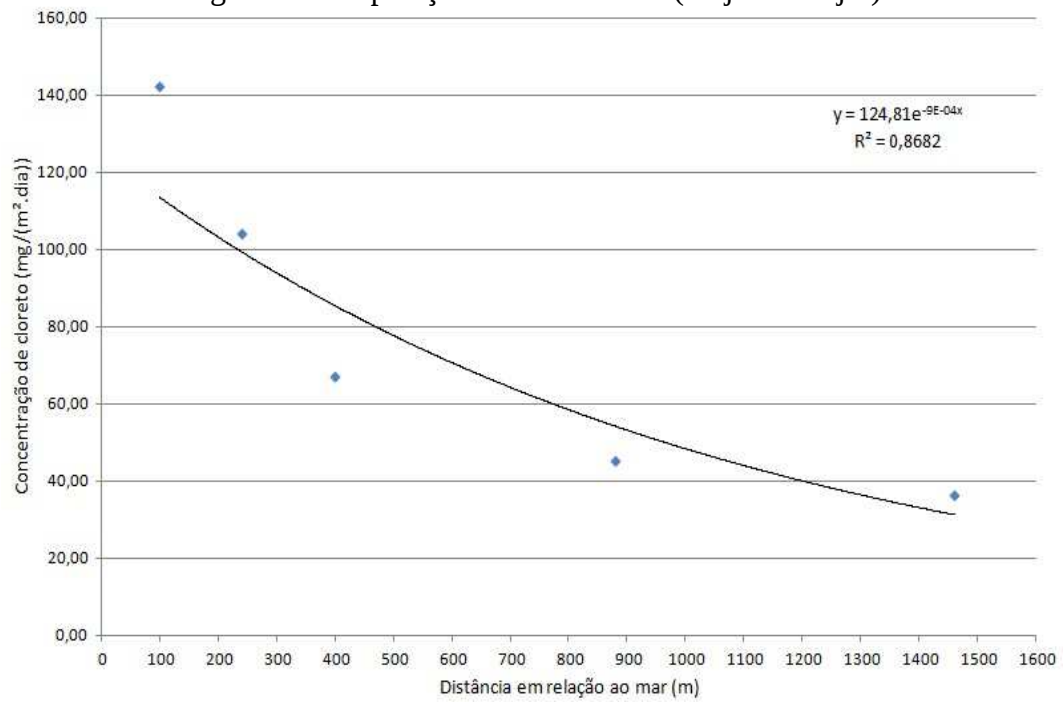
4.2 Deposição de íons cloreto

Nas figuras 12, 13 e 14 apresentam-se a deposição de íons cloreto em relação ao mar nos períodos de 08 de maio a 08 de junho, 11 de julho a 11 de julho e 13 de julho a 13 de agosto de 2012, respectivamente. Observou-se que a concentração de íons na atmosfera diminui à proporção que se aumenta a distância em relação ao mar, como apresentado nas figuras 12, 13 e 14.



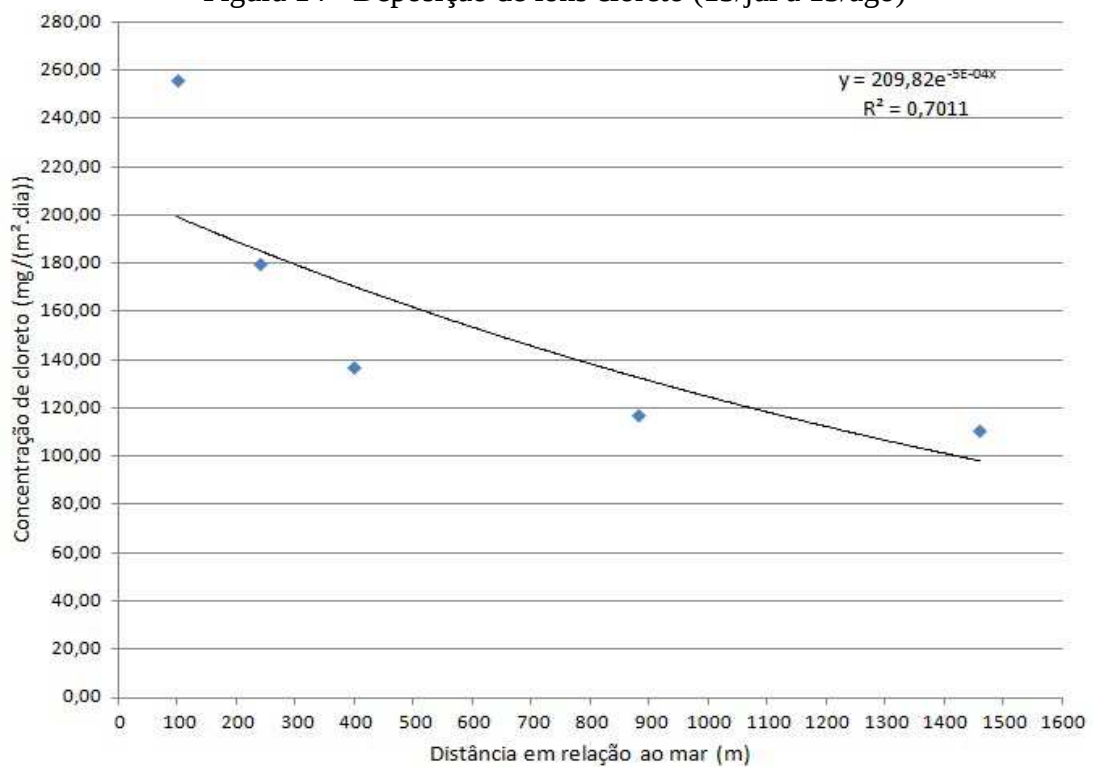
Fonte: Próprio autor.

Figura 13 - Deposição de íons cloreto (11/jun a 11/jul)



Fonte: Próprio autor.

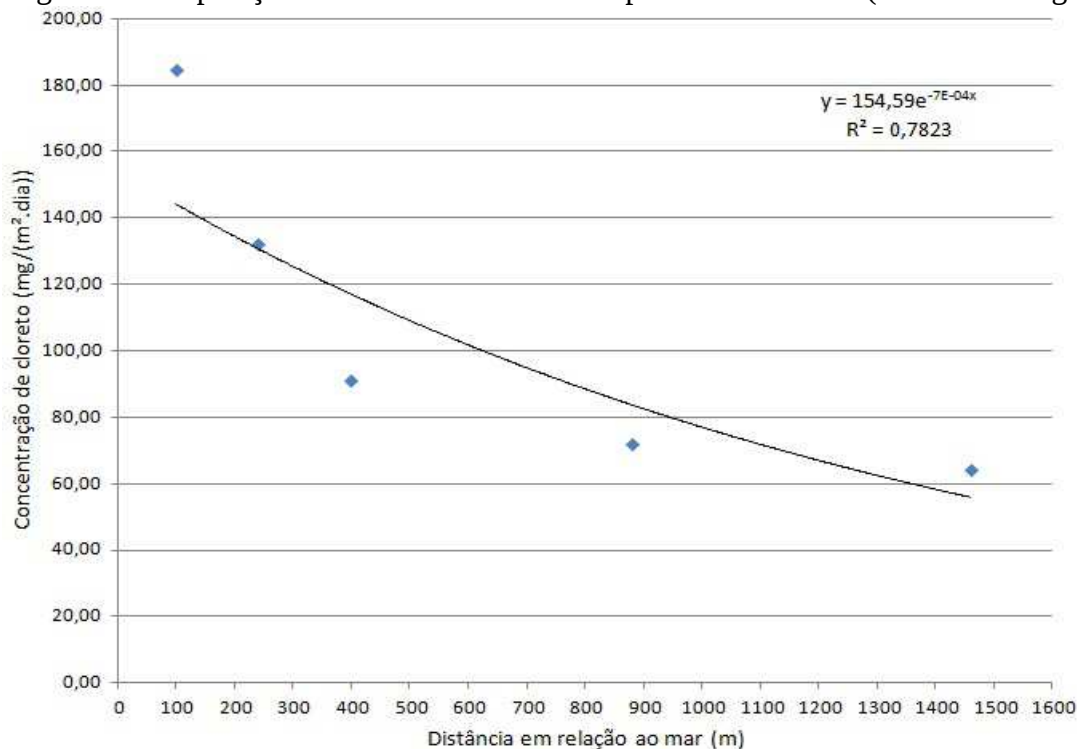
Figura 14 - Deposição de íons cloreto (13/jul a 13/ago)



Fonte: Próprio autor.

Na Figura 15, apresenta-se a deposição média de íons cloreto em relação ao mar. Observa-se que os teores médios provenientes de todos os períodos analisados também decrescem quando a distância em relação ao mar sofre aumentos.

Figura 15 - Deposição média de íons cloreto no período de análise (08/mai a 13/ago)



Fonte: Próprio autor.

De acordo com os gráficos apresentados acima, representa-se a relação entre a deposição de íons cloreto e a distância em relação ao mar por um gráfico de dispersão com linha de tendência exponencial, do tipo $y = ae^{-bx}$. Assim, a análise da deposição média no período analisado retorna a equação $y = 154,59e^{-0,0007x}$ com coeficiente de determinação $R^2=0,7823$, ou seja, 78,23% da variância de y é explicada pela variância de x. Como o coeficiente de aceitação é superior 75%, logo a equação encontrada é aceitável.

4.2.1 Comparação com outros resultados

Pontes (2006) utilizou o método da vela úmida para analisar a orla marítima do Bairro de Boa Viagem, localizado em Recife –PE. Sua análise ocorreu no período de agosto de 2005 a janeiro de 2006, os resultados mostraram que o ataque de cloretos decresceu significativamente a partir dos 100m de distância do mar e alcançou valores pequenos em torno de 300m, conforme é apresentado no Quadro 6.

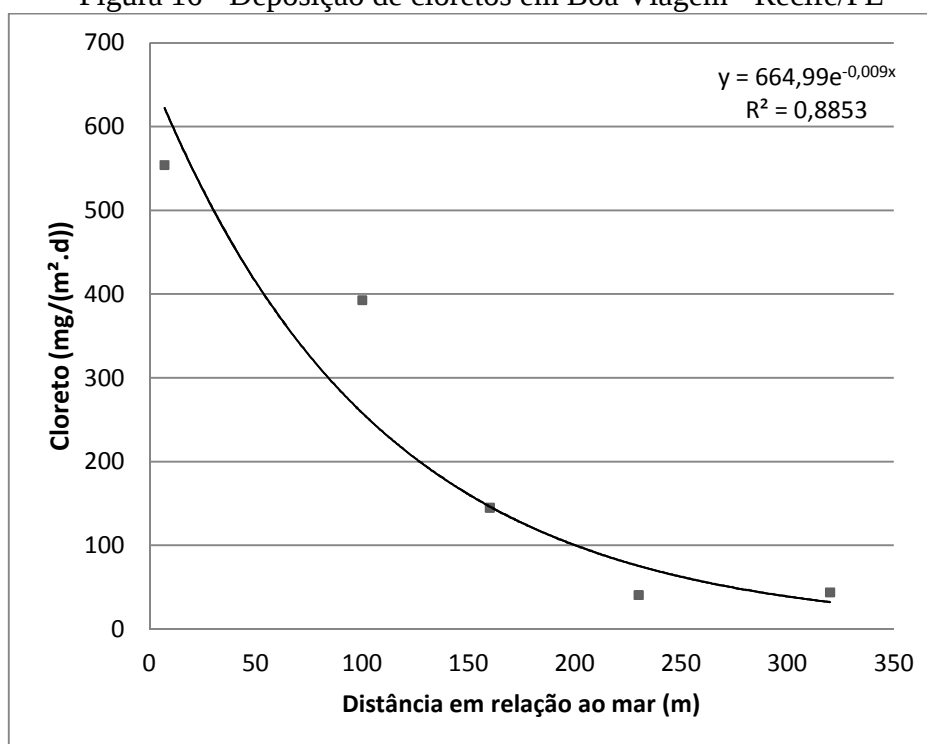
Quadro 6 - Resultados obtidos em Boa Viagem, Recife-PE

Estação de coleta	Concentração de cloretos (mg/m ² .dia)						Média
	ago/05	set/05	out/05	nov/05	dez/05	jan/06	
E1 (7m)	1050,39	678,04	484,41	332,60	394,94	386,03	554,40
E2 (100m)	406,14	370,10	355,91	469,41	403,15	353,50	393,04
E3 (160m)	151,00	127,59	111,30	155,94	146,35	178,23	145,07
E4 (230m)	46,74	36,09	31,66	52,22	41,47	36,41	40,76
E5 (320m)	53,13	42,89	39,18	49,66	41,73	37,75	44,06

Fonte: Pontes (2006).

Através dos dados coletados, fez-se a modelagem matematicamente da equação do comportamento da concentração de íons cloreto em Boa Viagem frente à distância em relação ao mar, conforme ilustrado na Figura 16.

Figura 16 - Deposição de cloretos em Boa Viagem - Recife/PE



Fonte: Pontes (2006).

A média mensal da deposição de cloretos traz a equação $y = 664,99e^{-0,0095x}$ com coeficiente de determinação $R^2=0,8853$, onde y é a concentração de cloretos e x é a distância em relação ao mar.

Meira e Padaratz (2002) analisaram o comportamento dos íons cloreto com a distância em relação ao mar em João Pessoa – PB. Conforme o Quadro 7, durante os meses de

novembro de 2001 a março de 2002, constatou-se que existia uma redução da concentração de cloretos nas primeiras faixas do continente, em especial nos primeiros 200 metros.

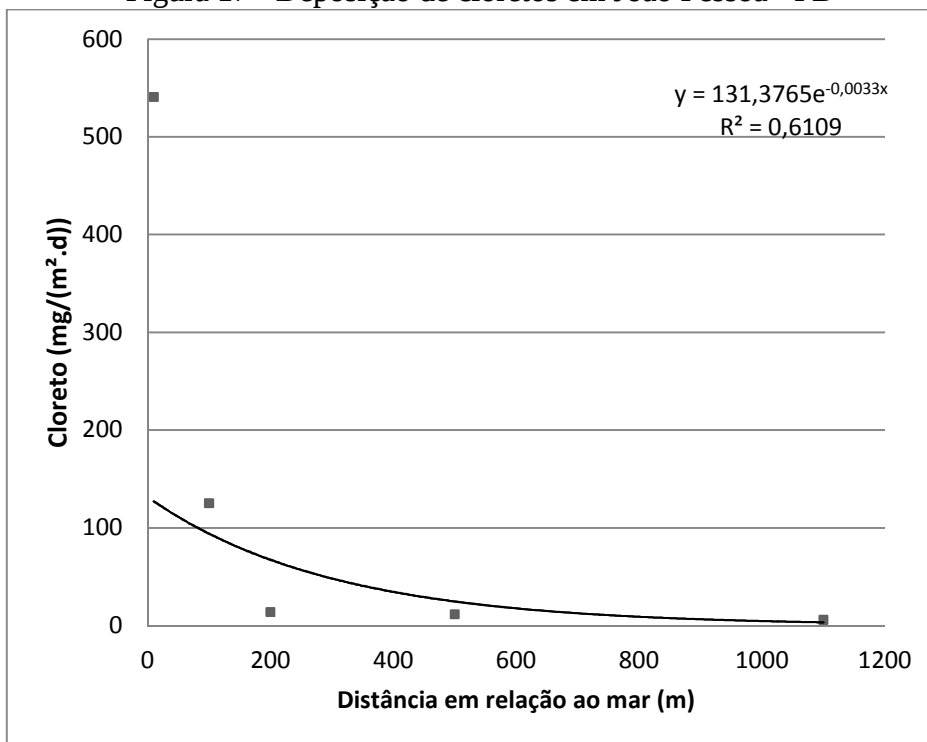
Quadro 7 - Resultados obtidos em João Pessoa-PB

Distância (m)	Concentração de cloretos (mg/m ² .dia)					
	nov/01	dez/01	jan/02	fev/02	mar/02	Média
10	639,92	729,16	483,56	412,45	438,61	540,74
100	187,95	213,51	74,48	69,70	80,68	125,26
200	13,16	13,27	9,85	12,60	20,59	13,89
500	0,00	9,85	8,92	13,04	15,17	11,74
1100	0,00	0,00	0,00	5,88	6,02	5,95

Fonte: Meira & Paradatz (2002).

Através dos dados coletados, fez-se a modelagem matematicamente da equação do comportamento da concentração de íons cloreto em João Pessoa - PB frente à distância em relação ao mar, conforme ilustrado na Figura 17.

Figura 17 - Deposição de cloretos em João Pessoa - PB



Fonte: (Meira & Padaratz , 2002).

A média mensal da deposição de cloretos retorna a equação $y = 131,3765e^{-0,0033x}$ com coeficiente de determinação $R^2=0,6109$.

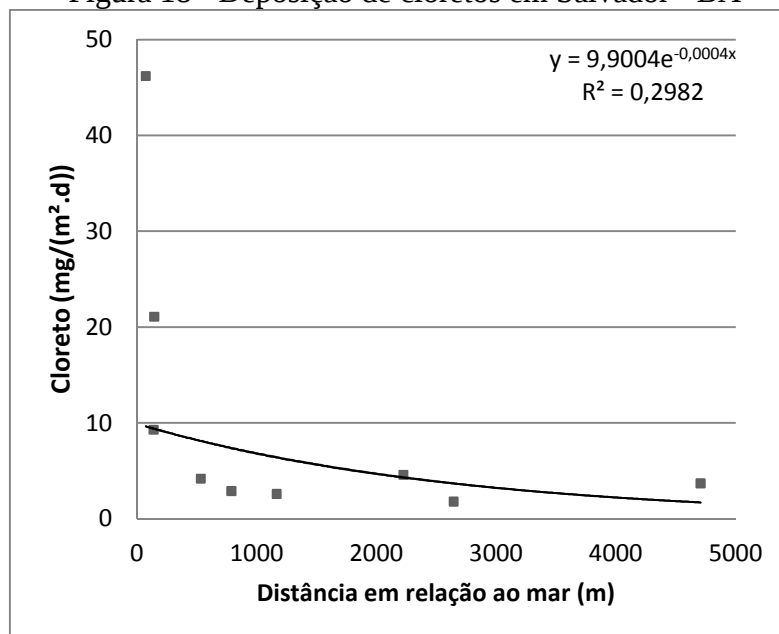
Em Salvador/BA, Costa (2001) analisou a taxa de deposição de cloretos através da vela úmida durante cinco meses (agosto de 2000 a janeiro de 2001) e encontrou os teores conforme apresentado no Quadro 8. A modelagem matemática dos teores em função da distância em relação ao mar é ilustrada na Figura 18.

Quadro 8 - Resultados obtidos em Salvador-BA

Concentração de cloretos (mg/m².dia)	
Distância (m)	Média
71,60	46,20
137,60	9,30
143,40	21,10
531,90	4,20
787,70	2,90
1165,40	2,60
2225,50	4,60
2645,00	1,80
4707,70	3,70

Fonte: Costa (2001).

Figura 18 - Deposição de cloretos em Salvador - BA



Fonte: Costa (2001).

A média mensal da deposição de cloretos em Salvador retorna a equação $y = 9,0004e^{-0,0004x}$ com coeficiente de determinação $R^2=0,2982$.

Em Fortaleza/CE, Silva (2011) analisou a taxa de deposição de cloretos através da vela úmida na Praia do Futuro no período entre agosto de 2011 a outubro de 2011 e conforme

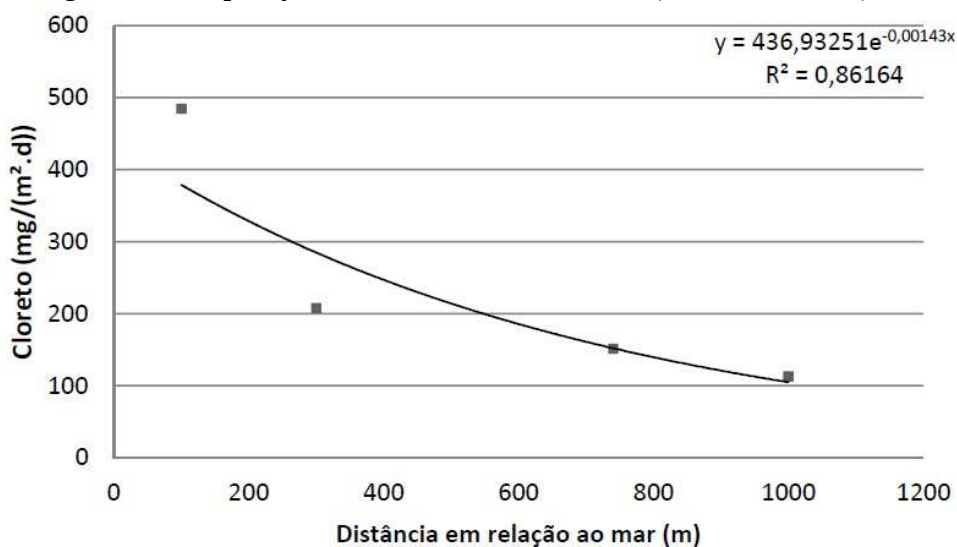
apresentado no Quadro 9, os teores de íons cloreto foram relativamente elevados, chegaram a ultrapassar significativamente os teores encontrados anteriormente nas outras capitais. Todas as condições climatológicas que influenciavam nos teores de cloreto na atmosfera foram avaliadas neste período e concluiu-se que algumas eram totalmente favoráveis ao aumento da concentração, como por exemplo, a direção do vento e a ausência de chuvas. A modelagem matemática em função da distância em relação ao mar é ilustrada na Figura 19.

Quadro 9 - Resultados obtidos na Praia do Futuro em Fortaleza-CE

Concentração de cloretos (mg/m².dia)	
Distância (m)	Média
100	484,35
300	208,08
740	151,16
1000	112,93

Fonte: Silva (2011).

Figura 19 - Deposição de cloretos em Fortaleza (Praia do Futuro) - CE



Fonte: Silva (2011).

A média mensal da deposição de cloretos na Praia do Futuro em Fortaleza retorna a equação $y = 436,93251e^{-0,00143x}$ com coeficiente de determinação $R^2=0,86164$.

Diante disso, executou-se um comparativo de concentrações utilizando as modelagens matemáticas produzidas pelas equações exponenciais das cinco análises executadas nas capitais nordestinas (Fortaleza – Praia do Futuro e Praia de Iracema, Recife, João Pessoa e Salvador). A comparação entre os diversos locais analisados foi feita tomando como base qualquer distância em relação ao mar, como mostra o Quadro 10.

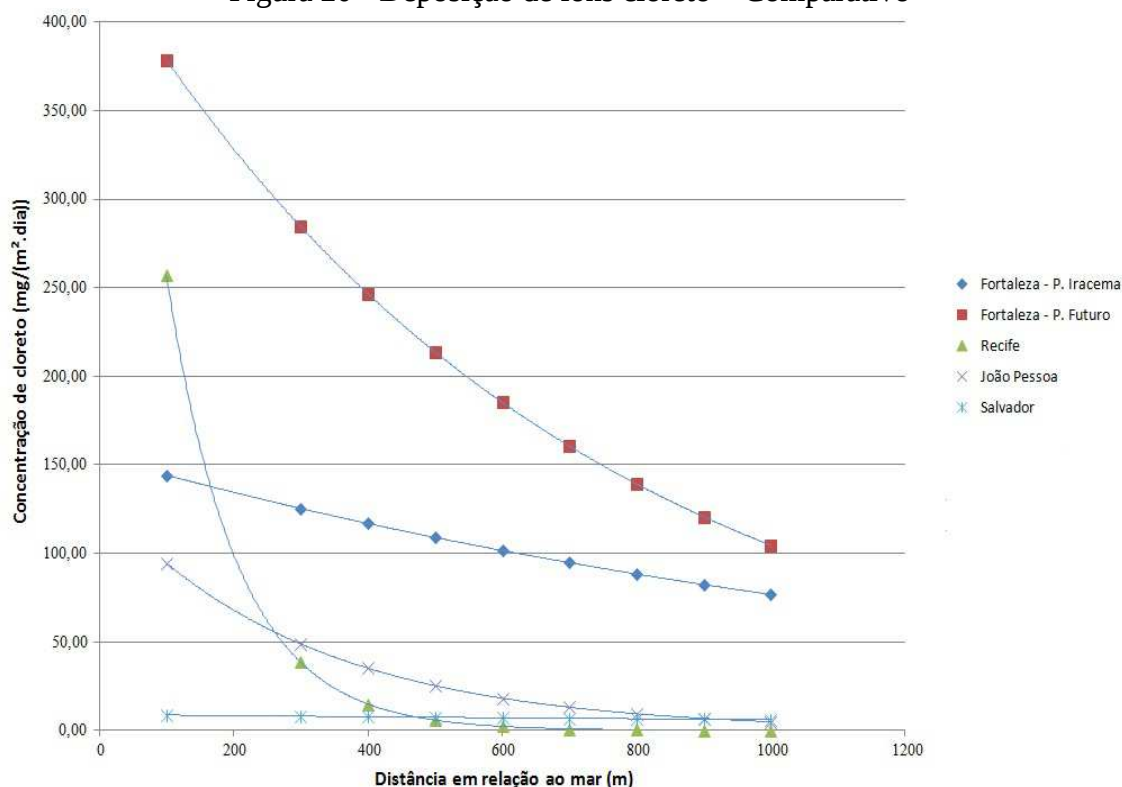
Quadro 10 - Deposição de cloretos - Comparativo

Concentração de cloretos (mg/m².dia)					
Distância em relação ao mar (m)	Capital				
	Fortaleza P. de Iracema	Fortaleza P. do Futuro	Recife	João Pessoa	Salvador
	Equação				
	$y = 154,59e^{-0,0007x}$	$y = 436,93e^{-0,00143x}$	$y = 664,99e^{-0,0095x}$	$y = 131,38e^{-0,0033x}$	$y = 9,00e^{-0,0004x}$
100	144,14	378,71	257,18	94,45	8,65
300	125,31	284,51	38,47	48,82	7,98
400	116,84	246,60	14,88	35,10	7,67
500	108,94	213,74	5,75	25,23	7,37
600	101,57	185,26	2,23	18,14	7,08
700	94,70	160,58	0,86	13,04	6,80
800	88,30	139,18	0,33	9,38	6,54
900	82,33	120,64	0,13	6,74	6,28
1000	76,76	104,56	0,05	4,85	6,03

Fonte: Próprio autor.

Na Figura 20, são ilustradas as curvas dos teores de cloreto em função das distâncias em relação ao mar. As concentrações apresentadas nas curvas são resultantes das funções encontradas para as diversas localidades.

Figura 20 - Deposição de íons cloreto – Comparativo



Fonte: Próprio autor.

A figura acima mostra com clareza a divergência nos teores de íons cloreto nos quatro locais analisados, confirmando que, apesar de pertencerem a uma região em comum (Região Nordeste) ou até ao mesmo município (Fortaleza), as localidades possuem suas características próprias para este parâmetro.

Observa-se que a Praia do Futuro apresenta concentrações elevadas quando comparada às demais localidades, inclusive para a Praia de Iracema, apesar de pertencerem ao mesmo município. As concentrações chegam a ficar próximas apenas após 1 km de faixa terrestre.

Quando a distância em relação ao mar aumenta, as concentrações decrescem. Para as capitais com exceção de Fortaleza, esses teores chegam a se aproximar ou até mesmo atingir valores nulos. No entanto, quando se compara a Praia de Iracema e a Praia do Futuro, vê-se que a partir dos 800m as concentrações chegam a apresentar valores mais próximos, chegando a assumirem valores praticamente iguais para 1460m do mar, apresentando uma diferença de apenas 3%. Observa-se que para 1000m ainda têm-se teores elevados para essas duas praias quando comparadas as demais localidades analisadas. Os teores encontrados na Praia de Iracema assumem em geral a segunda posição das localidades analisadas em termos de íons cloreto livre na atmosfera, ou seja, para os primeiros 1000 m a Praia de Iracema em

termos de concentração de íons cloreto na atmosfera fica abaixo apenas da Praia do Futuro, dentre as regiões analisadas. O Quadro 11, apresenta um comparativo percentual entre os teores de cloreto da Praia de Iracema e das outras capitais nordestinas.

Quadro 11 - Comparativo de agressividade – Praia de Iracema e capitais nordestinas

Comparativo de agressividade							
Distância	Praia de Iracema (Fortaleza)	Recife		João Pessoa		Salvador	
		% relativo de agressividade	Conc. (mg/m ² .dia)	% relativo de agressividade	Conc. (mg/m ² .dia)	% relativo de agressividade	Conc. (mg/m ² .dia)
100	144,14	-44%	257,18	53%	94,45	1566%	8,65
240	130,68	92%	68,02	119%	59,51	1497%	8,18
400	116,84	685%	14,88	233%	35,10	1423%	7,67
880	83,49	55560%	0,15	1059%	7,20	1219%	6,33
1460	55,63		0,00	22152%	0,25	1008%	5,02

Fonte: Próprio autor.

Os valores apresentados no Quadro 11, mostram que os teores provenientes da Praia de Iracema superam em grande parte as outras capitais nordestinas. Em Recife, apenas a concentração a 100m do mar supera os valores da Praia de Iracema, mas para 880m o teor encontrado na Praia de Iracema supera o teor de cloretos da capital pernambucana cerca de 557 vezes. Em João Pessoa, para 1460 m, a concentração de íons cloreto na Praia de Iracema chega a ser 222 vezes maior que na capital paraibana.

O Quadro 12, apresenta um comparativo entre os teores de íons cloreto na Praia de Iracema e na Praia do Futuro, ambas em Fortaleza.

Quadro 12 - Comparativo de agressividade – Praia de Iracema e Praia do Futuro

Distância	Praia de Iracema (Fortaleza)	Praia do Futuro	
		% relativo de agressividade	Conc. (mg/m ² .dia)
100	144,14	-62%	378,71
240	130,68	-58%	310,00
400	116,84	-53%	246,60
880	83,49	-33%	124,14
1460	55,63	3%	54,16

Fonte: Próprio autor.

Observa-se que em grande parte os teores de íons cloreto provenientes da Praia de Iracema ficam inferiores à Praia do Futuro. No entanto, vê-se que para 1460 do mar, as concentrações de cloreto da Praia de Iracema superam a Praia do Futuro em 3%.

Para Bissa (2008), a necessidade de se saber a quantidade de cloretos livres na atmosfera que podem desencadear um processo corrosivo nas armaduras é extremamente difícil, pois a quantidade limite vai depender do tipo de cimento, alcalinidade do concreto, teor de aluminato tricálcio, teor de gesso, resistência do concreto e relação água- cimento (a/c). Para efeitos práticos, a prevenção da corrosão provocada pelos íons cloreto é feita pelo controle de qualquer concentração de cloretos que possa existir no ar atmosférico.

A Praia de Iracema, não só apresentou teores de cloreto livre na sua atmosfera, mas também de acordo com o comparativo executado mostrou-se a segunda localidade mais agressiva dentre as analisadas. Assim, as construções presentes naquela região merecem cuidados especiais com o cobrimento adequado das armaduras, resistência do concreto, dentre outros fatores que quando combinados, tornam as estruturas duradouras.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões

A pesquisa executada assimilou que a determinação do teor de íons cloreto no ar atmosférico em regiões marinhas pelo Método da Vela Úmida é uma técnica muito importante e viável, pois apresenta baixo custo de implantação e pode ser feita independentemente das características climatológicas do meio ambiente analisado.

Durante os meses de avaliação, a concentração de íons cloreto na atmosfera sofreu decréscimos com o distanciamento ao interior do continente, em algumas localidades essa diminuição ocorre de maneira gradual, como foi para a Praia de Iracema. Já em outras situações há uma queda brusca nos teores. Esse comportamento sempre ocorre independente do período analisado e das condições climáticas ao qual a vela está submetida.

Como foram observadas, as concentrações variaram sem grandes amplitudes, o valor apresentado nos primeiros 100 metros onde se têm os maiores teores não se distanciou em grandes proporções para os 400 metros. Os teores obtidos quando comparados com a Praia do Futuro foram menores para distâncias inferiores a 1460 metros. A região analisada possui elevada densidade de edificações, árvores e vários obstáculos, com isso, a dispersão da névoa salina na atmosfera cai significativamente fazendo com que os valores encontrados para maiores distâncias se apresentem de forma suave.

Diante disso, possibilitou-se uma aproximação relativa da concentração de íons cloreto com a distância em relação ao mar para uma função exponencial, como descrito por Meira e Padaratz (2002). Foi possível analisar a interferência dos parâmetros climatológicos no teor de deposição de íons cloreto, com isso evidenciou-se que as chuvas decorrentes de alguns períodos do ano, a força, direção e a velocidades do vento influenciam significativamente na dispersão de cloretos na atmosfera, fazendo com que os teores variem ao longo do ano dentro da mesma região.

É importante ressaltar que os dados obtidos nesta pesquisa se referem, exclusivamente, a um trecho específico da Praia de Iracema (Fortaleza/CE), pois, como foi analisado, existem diferenças no comportamento atmosférico dentro de orlas marítimas de outras regiões brasileiras e também do mesmo município.

5.2 Sugestões

Por meio dos valores encontrados nesta pesquisa e pela importância deste tema, sugerem-se alguns melhoramentos e assuntos para pesquisas futuras:

- a) Estender esta pesquisa para uma maior quantidade de meses, afim de que seja possível um maior estudo da influência do clima em períodos chuvosos de Fortaleza, geralmente de março a maio, além de ser possível a análise de uma maior variabilidade da concentração de íons cloreto.
- b) Realizar pesquisa semelhante a esta em outras áreas de atmosfera marinha, tais como Porto das Dunas, Cumbuco e Barra do Ceará. Acredita-se que estas áreas são atrativas para construtores e um mapeamento indicativo de zonas de agressividade, viria a contribuir positivamente na elaboração de projetos mais econômicos e duradouros.
- c) Estudar a influência da altura das edificações na deposição de íons cloreto, bem como a influência de obstáculos na disseminação de cloretos ao longo da costa (efeito barreira).

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Cálculo e execução de obras de concreto armado. **NB 01**. Rio de Janeiro, 1940.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento - Procedimento. **NBR 12655**. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Execução de estruturas de concreto – Procedimento. **NBR 14931**. Rio de Janeiro, 2004.

_____. Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento. **NBR 6118**. Rio de Janeiro, 2007.

_____. Corrosão atmosférica: determinação de cloretos na atmosfera pelo método da vela úmida: método de ensaio. **NBR 6211**. Rio de Janeiro, 2001.

BISSA, R. C. R. **Sistemas de impermeabilização e proteção de estruturas de concreto armado de reservatórios de água tratada atacados por cloretos**. Monografia. Universidade de Minas Gerais, 2008.

CASCUDO, O. **Controle da corrosão de armaduras em concreto – Inspeção e Técnicas eletroquímicas**. São Paulo: Pini, 1998.

CIPRIANO, R. J.; BLANCHARD, D. C. **The vertical distribution of the concentration of sea salt in the marine atmosphere near Hawaii**. Tellus, 1984.

COSTA, Eduardo Antonio Lima. **Determinação do potencial de agressão dos sais marinhos sobre as argamassas de revestimento na região metropolitana de Salvador**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2001.

DURACRETE. **Models for environmental actions on concrete structures**. The European Union – Brite EuRam III, March, 1999.

GEMELLI, Enori. **Corrosão de Materiais Metálicos e Sua Caracterização**. 1ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

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

HELENE, P. R. L. **Corrosão em armaduras para concreto armado**. São Paulo: Pini: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1986.

JAMBO, H. C. M; FÓFANO, Sócrates. **Corrosão – Fundamentos, Monitoração e Controle**. Rio de Janeiro: Ciência moderna Ltda., 2008.

JOHNSON, G. R. **The formation and growth of marine aerosols and the development of new techniques for their in-situ analysis**. School of Physical and Chemical Sciences- Australia. 2005.

LIMA NETO, I. E. **Engenharia Costeira e Portuária**. Universidade Federal do Ceará, 2011.(Apostila).

MEIRA, G. R., PADARATZ, J. D. **Efeito do distanciamento em relação ao mar na agressividade por cloretos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 44, Belo Horizonte. Anais em CD. IBRACON, São Paulo, 2002.

PONTES, R. B. **Disseminação de íons cloreto na orla marítima do bairro de Boa Viagem, Recife-PE**. Dissertação (mestrado). Universidade Católica de Pernambuco. Recife, 2006.

SILVA, Felipe Alisson Sousa. **Avaliação do teor de íons cloreto no ar atmosférico da Praia de Iracema em Fortaleza/CE**. 2011. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2011.

SILVA, M. R. **Materiais de construção**. São Paulo: Pini, 1985.

SOUZA, V. C.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1998.

STUDART, T. M. C. **Hidrologia Básica**. Universidade Federal do Ceará, 2006. (Apostila).

TAYLOR, N. J.; WU, J. **Simultaneous Measurements of Spray and Sea Salt**. J. Geophys. Res., Vol. 97, No. C5, pp. 7355–7360, 1992.

VARELA, R. H. D. **Corrosão das armaduras em betão armado: influência dos agentes cloretos e da carbonatação nas edificações de Cabo Verde**. Universidade Jean Piaget de Cabo Verde, 2010.

ZEZZA, F.; MACRI, F. **Marine aerosol and stone decay**. The Science of the Total Environment, v. 167, p. 123-143, 1995.

ANEXOS

ANEXO A - REGISTRO SEMANAL DOS FATORES CLIMATOLÓGICOS – INMET 2012

ANEXO D - RESULTADOS DAS TITULAÇÕES NOS MESES ANALISADOS

ANEXO A - ACOMPANHAMENTO SEMANAL DOS PARÂMETROS CLIMATOLÓGICOS – INMET 2012

Quadro A.1 – Vento

Vento - direção predominante e velocidade						
Período: 08 de maio de 2012 a 08 de julho de 2012						
Semana:	08/mai a 14/mai	15/mai a 21/mai	22/mai a 28/mai	29/mai a 04/jun	05/jun a 08/jun	Média mensal:
Direção:	116 °	111 °	130 °	129 °	123 °	122 °
Velocidade:	2,69 m/s	2,60 m/s	2,23 m/s	2,37 m/s	2,77 m/s	2,53 m/s
Período: 11 de junho de 2012 a 11 de julho de 2012						
Semana:	11/jun a 17/jun	18/jun a 24/jun	25/jun a 01/jul	02/jul a 08/jul	09/jul a 11/jul	Média mensal:
Direção:	131 °	130 °	141 °	131 °	124 °	131 °
Velocidade:	2,53 m/s	2,07 m/s	2,21 m/s	2,71 m/s	3,3 m/s	2,56 m/s
Período: 13 de julho de 2012 a 13 de agosto de 2012						
Semana:	13/jul a 19/jul	20/jul a 26/jul	27/jul a 02/ago	03/ago a 09/ago	10/ago a 13/ago	Média mensal:
Direção:	123 °	124 °	138 °	118 °	118 °	124 °
Velocidade:	2,99 m/s	2,97 m/s	2,77 m/s	3,07 m/s	3,45 m/s	3,05 m/s

Fonte: INMET (2012).

Quadro A.2 – Precipitação

Precipitação (mm)						
Período: 08 de maio de 2012 a 08 de julho de 2012						
Semana:	08/mai a 14/mai	15/mai a 21/mai	22/mai a 28/mai	29/mai a 04/jun	05/jun a 08/jun	Total mensal:
Precipitação total	12,20 mm	23,60 mm	94,80 mm	4,80 mm	3,00 mm	138,40 mm
Período: 11 de junho de 2012 a 11 de julho de 2012						
Semana:	11/jun a 17/jun	18/jun a 24/jun	25/jun a 01/jul	02/jul a 08/jul	09/jul a 11/jul	Total mensal:
Precipitação total	11,20 mm	107,00 mm	2,00 mm	0,20 mm	0,00 mm	120,40 mm
Período: 13 de julho de 2012 a 13 de agosto de 2012						
Semana:	13/jul a 19/jul	20/jul a 26/jul	27/jul a 02/ago	03/ago a 09/ago	10/ago a 13/ago	Total mensal:
Precipitação total	3,80 mm	1,00 mm	2,20 mm	0,00 mm	0,00 mm	7,00 mm

Fonte: INMET (2012).

Quadro A.3 – Umidade Relativa

Umidade relativa (%)						
Período: 08 de maio de 2012 a 08 de julho de 2012						
Semana:	08/mai a 14/mai	15/mai a 21/mai	22/mai a 28/mai	29/mai a 04/jun	05/jun a 08/jun	Média mensal:
Máxima	90,00 %	92,00 %	94,00 %	92,00 %	93,00 %	92,20 %
Mínima	66,00 %	66,00 %	68,00 %	63,00 %	59,00 %	64,40 %
Média	75,40 %	78,80 %	82,60 %	77,70 %	78,50 %	78,60 %
Período: 11 de junho de 2012 a 11 de julho de 2012						
Semana:	11/jun a 17/jun	18/jun a 24/jun	25/jun a 01/jul	02/jul a 08/jul	09/jul a 11/jul	Média mensal:
Máxima	91,00 %	95,00 %	92,00 %	89,00 %	80,00 %	89,40 %
Mínima	63,00 %	77,00 %	55,00 %	54,00 %	56,00 %	61,00 %
Média	77,90 %	87,00 %	76,70 %	73,00 %	71,00 %	77,12 %
Período: 13 de julho de 2012 a 13 de agosto de 2012						
Semana:	13/jul a 19/jul	20/jul a 26/jul	27/jul a 02/ago	03/ago a 09/ago	10/ago a 13/ago	Média mensal:
Máxima	90,00 %	90,00 %	88,00 %	88,00 %	78,00 %	86,80 %
Mínima	59,00 %	51,00 %	49,00 %	59,00 %	47,00 %	53,00 %
Média	74,50 %	73,60 %	72,10 %	74,2 %	64,40 %	71,76 %

Fonte: INMET (2012).

Quadro A.4 – Temperatura

Temperatura (°C)						
Período: 08 de maio de 2012 a 08 de julho de 2012						
Semana:	08/mai a 14/mai	15/mai a 21/mai	22/mai a 28/mai	29/mai a 04/jun	05/jun a 08/jun	Média mensal:
Máxima	31,90 °C	30,70 °C	31,70 °C	30,70 °C	30,70 °C	31,14 °C
Mínima	25,80 °C	25,70 °C	24,50 °C	25,00 °C	25,60 °C	25,32 °C
Média	28,20 °C	27,70 °C	27,30 °C	27,20 °C	27,60 °C	27,60 °C
Período: 11 de junho de 2012 a 11 de julho de 2012						
Semana:	11/jun a 17/jun	18/jun a 24/jun	25/jun a 01/jul	02/jul a 08/jul	09/jul a 11/jul	Média mensal:
Máxima	31,20 °C	30,30 °C	31,10 °C	31,00 °C	30,20 °C	30,76 °C
Mínima	24,40 °C	25,80 °C	23,70 °C	25,30 °C	24,70 °C	24,78 °C
Média	27,70 °C	27,30 °C	27,00 °C	27,30 °C	27,20 °C	27,30 °C

Período: 13 de julho de 2012 a 13 de agosto de 2012						
Semana:	13/jul a 19/jul	20/jul a 26/jul	27/jul a 02/ago	03/ago a 09/ago	10/ago a 13/ago	Média mensal:
Máxima	31,00 °C	31,40 °C	33,00 °C	31,90 °C	32,00 °C	31,86 °C
Mínima	24,90 °C	24,30 °C	22,80 °C	24,50 °C	24,40 °C	24,18 °C
Média	27,20 °C	27,10 °C	26,60 °C	27,60 °C	27,30 °C	27,16 °C

Fonte: INMET (2012).

Quadro A.5 – Insolação

Radiação (KJ/m²)						
Período: 08 de maio de 2012 a 08 de julho de 2012						
Semana:	08/mai a 14/mai	15/mai a 21/mai	22/mai a 28/mai	29/mai a 04/jun	05/jun a 08/jun	Média mensal:
Radiação	750,24	667,68	787,70	738,47	887,62	766,34
Período: 11 de junho de 2012 a 11 de julho de 2012						
Semana:	11/jun a 17/jun	18/jun a 24/jun	25/jun a 01/jul	02/jul a 08/jul	09/jul a 11/jul	Média mensal:
Radiação	983,25	875,08	857,24	756,67	894,53	873,35
Período: 13 de julho de 2012 a 13 de agosto de 2012						
Semana:	13/jul a 19/jul	20/jul a 26/jul	27/jul a 02/ago	03/ago a 09/ago	10/ago a 13/ago	Média mensal:
Radiação	782,77	837,91	924,45	900,21	918,40	872,75

Fonte: INMET (2012).

ANEXO B - RESULTADOS DA TITULAÇÃO NOS MESES ANALISADOS

Quadro B.1 – Determinação do teor de cloretos (08/mai a 08/jun).

08/MAI A 08/JUN									
Estação	Distância	Vt (mL)	S (m²)	TITULAÇÃO Hg(NO3)2.H2O				t (dias)	Cloreto (mg/(m².d))
				Va (mL)	M	A (mL)	B (mL)		
BRANCO		600	0,1218	50	0,0125	0	0,5	31	
V1	100	900	0,0137			4,5			156,11
V2	240	900	0,0132			3,5			113,18
V3	400	900	0,0137			2,3			70,25
V4	880	900	0,0132			1,9			52,82
V5	1460	900	0,0146			1,8			45,88

Fonte: Próprio autor.

Quadro B.2 – Determinação do teor de cloretos (11/jun a 11/jul).

11/JUN A 11/JUL									
Estação	Distância	Vt (mL)	S (m²)	TITULAÇÃO Hg(NO3)2.H2O				t (dias)	Cloreto (mg/(m².d))
				Va (mL)	M	A (mL)	B (mL)		
BRANCO		600	0,1218	50	0,0125	0	0,5	30	
V1	100	900	0,0135			4,1			142,24
V2	240	900	0,0143			3,3			104,13
V3	400	900	0,0127			2,1			67,00
V4	880	900	0,0141			1,7			45,22
V5	1460	900	0,0146			1,5			36,47

Fonte: Próprio autor.

Quadro B.3 – Determinação do teor de cloretos (13/jul a 13/ago).

13/JUL A 13/AGO									
Estação	Distância	Vt (mL)	S (m²)	TITULAÇÃO Hg(NO3)2.H2O				t (dias)	Cloreto (mg/(m².d))
				Va (mL)	M	A (mL)	B (mL)		
BRANCO		600	0,1218	50	0,0125	0	0,5	31	
V1	100	900	0,0135			7,2			256,19
V2	240	900	0,0132			5,1			179,53
V3	400	900	0,0132			4,0			136,76
V4	880	900	0,0132			3,5			117,23
V5	1460	900	0,0125			3,2			110,89

Fonte: Próprio autor.