AGRESSIVIDADE AMBIENTAL EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO NA ZONA LITORÂNEA DE NATAL/RN

LIMA, Laércio[1], MORAIS, George Neres[2], TINOCO, Hênio F. F.[3]

[1] Universidade Potiguar, graduado em engenharia civil, e-mail: laercio_nsk@hotmail.com
[2] Universidade Potiguar, graduado em engenharia civil, e-mail: georgemtec@hotmail.com
[3] Universidade Potiguar, Professor, Mestre em Engenharia Civil, e-mail: heniotinoco@unp.br

RESUMO

A adoção de parâmetros de projeto visando a durabilidade das estruturas de concreto foi, sem dúvida, um grande avanço na busca da garantia de qualidade e vida útil nas construções nos últimos anos. No entanto, observa-se que ainda não há consenso no meio técnico no que diz respeito às faixas que limitam as classes de agressividade ambiental. Surge, a partir daí, a necessidade de mapear e conhecer as fronteiras da influência agressiva do aerosol marinho. Este artigo aborda as características do ambiente marinho da cidade de Natal/RN e o potencial para formação e transporte da névoa salina, como também, os mecanismos de ingresso de íons agressivos no concreto, que iniciam os processos de corrosão e diminuem a vida útil das estruturas; além disso, propõe diretrizes para futuros trabalhos de mapeamento da influência de cloretos na faixa litorânea dessa capital. São tomados como base teórica, diversos trabalhos realizados em cidades costeiras do Brasil. A análise dos aspectos climáticos e ambientais da faixa litorânea de Natal, apontando um grande potencial de formação e transporte do aerosol marinho, mostrando uma necessidade de mensuração desse potencial agressivo e a viabilidade para traçar o perfil do efeito do aerosol marinho na cidade.

Palavras chave: cloretos; mapeamento; ambiente marinho; vida útil; estruturas de concreto.

ABSTRACT

The adoption of project parameters aiming the durability of concrete structures was undoubtedly a major advance in the search for quality assurance and useful life in construction in recent years. However, it is noted that there is no consensus on the technical means with respect to the limiting tracks classes of environmental aggressiveness. Emerges from there, the need to map the boundaries and meet the aggressive influence of marine aerosol. This article discusses the characteristics of the marine environment of Natal/RN and its potential for formation and transport of spray salt, as well as the mechanisms of aggressive ions entrance in the concrete , which initiates the processes of corrosion and decrease the useful life of structures , besides, proposes guidelines for future work on mapping the influence of chlorides in the coastal strip of this capital. Several studies conducted in coastal cities of Brazil are taken as the theoretical basis. The analysis of climate and environmental aspects of the coastal strip of Natal, points a great potential for training and transport of marine aerosol, showing a need to measure this aggressive potential and viability to delineate the effect profile of marine aerosol in the city.

Keywords: chlorides. Mapping. Marine environment. Life. Concrete structures.

1. INTRODUÇÃO

A proximidade das edificações com o mar é algo histórico, já que boa parte das principais civilizações se formou ao longo das costas continentais, motivados principalmente pela facilidade e as vantagens do transporte naval. Com o advento do concreto armado empregado em edificações costeiras percebeu-se um problema: a agressividade marinha causava rápida deterioração às armaduras, provocando fissuração e desplacamentos no concreto, fragilizando, dessa forma as edificações próximas à costa.

Mota *et al* (2009) explicam que a localização das estruturas é determinante para o reconhecimento da agressividade ambiental em que o concreto estará submetido por toda sua vida útil. Este reconhecimento é necessário e extremamente importante, no sentido de serem estabelecidas ponderações em projeto e na execução das estruturas, a fim de se conseguir maior durabilidade às edificações submetidas a determinadas classes de agressividade.

A concepção estrutural frente à agressividade do ambiente ainda apresenta um caráter subjetivo, pois os projetistas, sem subsídios científicos, a nível local, adotam parâmetros, como cobrimento e classe do concreto, baseados em suposições empíricas em relação ao alcance do aerosol marinho.

Dentre os estudos que abordam a ótica de mapeamento dos níveis de agressividade ambiental do Brasil se destacam Meira e Padaratz (2002) com estudos dos níveis de emissão de cloretos na orla de João Pessoa, por meio do ensaio da vela úmida; dissertações como a de Pontes (2006), com estudos em Recife-PB; e Romano (2009), realizando análises no Rio Grande do Sul; sendo ainda muito grande o número de regiões onde são desconhecidas as amplitudes e assim, a classificação da agressividade ambiental.

Este trabalho tem como objetivo analisar as características dos ambientes marinhos, ligadas à geração e transporte da névoa salina, e a influência ambiental nos mecanismos de ingresso de cloretos no concreto. Dentro dessa ótica, criar uma percepção do ambiente marinho da cidade de Natal/RN, definindo um potencial de agressividade do ambiente, e lançando uma proposta de mapeamento da faixa de influência dos cloretos na zona litorânea da cidade.

2. CLASSIFICAÇÃO DA AGRESSIVIDADE AMBIENTAL

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

A ABNT NBR 6118: 2007 ainda explica que nos projetos das estruturas correntes, a agressividade ambiental deve ser classificada de acordo com o apresentado na tabela 1 e pode ser avaliada, simplificadamente, segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes.

Tabela 1 Classes de Agressividade Ambiental Fonte: (ABNT NBR - 6118/2007)

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 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.

O projetista estrutural, tendo conhecimento das características do ambiente em que a estrutura estará inserida, adotará a classe de agressividade que se encaixe na tabela 1, tendo a liberdade de arbitrar uma classe mais agressiva, já que a norma aponta parâmetros mínimos a serem seguidos.

Daí surge mais um fator que eleva a subjetividade na classificação dos ambientes agressivos, pois os parâmetros estabelecidos pela norma são generalistas, e permitem interpretações distintas, dependendo da visão de cada projetista.

2.1 Agressividade ambiental e as especificações do concreto

A ABNT NBR 6118: 2007 explica que a durabilidade das estruturas é altamente dependente das características do concreto, da geometria dos elementos estruturais, da qualidade do concreto e do cobrimento da armadura.

De acordo com Helene (1997), a resistência do concreto aos diferentes meios agressivos depende da natureza e tipo dos seus materiais constituintes, assim como da composição ou dosagem do concreto, em suma, depende do tipo e consumo de cimento, tipo e consumo de adições, relação água/cimento, natureza e diâmetro máximo do agregado utilizado.

Ensaios comprobatórios de desempenho da durabilidade da estrutura frente ao tipo e nível de agressividade previsto em projeto devem estabelecer os parâmetros mínimos a serem atendidos. Na falta destes e devido à existência de uma forte correspondência entre a relação água/cimento, a resistência à compressão do concreto e sua durabilidade, a ABNT NBR 6118: 2007 permite adotar requisitos mínimos expressos na tabela 2.

Tabela 2: Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto. (Fonte: ABNT NBR - 6118/2007)

Concreto	Tipo	Classe de agressividade (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ 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.					

O cobrimento do concreto é outro parâmetro determinante para vida útil das estruturas, pois age como barreira contra os agentes agressivos das armaduras. A ABNT NBR 6118: 2007 aponta que em ambientes marinhos, onde há incidência de íons cloretos, é indicado adotar cobrimentos nominais acima 30 mm, já em estruturas submetidas a respingo de maré, onde há o contato direto com água do mar, e a agressividade é considerada muito forte, são adotados cobrimentos superiores a 50 mm.

3. CARACTERÍSTICAS DOS AMBIENTES AGRESSIVOS

Os ambientes que se caracterizam agressivos possuem, em maior ou menor concentração, agentes químicos e físicos que atuam de forma agressiva e deteriorante nas estruturas de concreto armado, diminuindo sua vida útil e desempenho.

Como visto na tabela 1, extraída da ABNT NBR 6118: 2007, cada classe de agressividade ambiental está vinculada a um tipo de ambiente e ao risco de deterioração que os agentes agressivos, correspondentes a cada ambiente, podem trazer à estrutura edificada. Sendo que o ambiente marinho pode apresentar-se em duas classes: Na classe III (Risco Forte), em que há atuação apenas do aerosol marinho na atmosfera; e na classe IV (Risco Muito Forte), caracterizado pelo respingo de maré, em que há o contato da água do mar com a estrutura de concreto. Ambos tendo os íons cloreto como principal agente agressivo.

Em cidades costeiras, com uma grande densidade populacional e a presença de parques industriais, é possível encontrar zonas com diferentes microclimas, onde as estruturas podem estar submetidas às classes II (Ambiente Urbano – Risco Moderado), III (Ambiente Marinho e/ou Industrial – Risco Forte), e IV (Ambiente Industrial e/ou Respingo de Maré). Podendo cada agente atuar separadamente ou em conjunto sobre as estruturas. Este é um fator que deve ser muito bem avaliado pelos projetistas, pois arbitrar que uma edificação estará sob a influência de um único ambiente agressivo, pode não ser uma decisão acertada.

3.1 **Caracteristicas do ambiente marinho**

O ambiente marinho se caracteriza por apresentar diversos agentes agressivos, destacando entre eles os íons cloretos, que atuando conjuntamente representam um risco alto de deterioração as estruturas de concreto.

Segundo Mehta e Monteiro (1994) os principais agentes que atacam a pasta de cimento em ambientes marinhos são os sais de magnésio e os sulfatos. Helene (1986) aponta que o principal agente que ataca o aço no concreto estrutural é o cloreto, oriundo de ambientes marinhos e dos compostos de fabricação do concreto.

Como já citado anteriormente esses agentes atuarão em maior ou menor escala, dependendo do grau de influência exercida por fatores existentes nos ambientes marinhos. Entre esses fatores pode-se citar a salinidade dos mares, direção e velocidade dos ventos predominantes, altitude, insolação, geometria dos elementos estruturais, e a distância em relação ao mar.

De acordo com Pontes (2006), Oceano Atlântico que banha a costa brasileira, apresenta teor médio de sais em torno de 3,5% (35g/L). A norma DIM 4030 (1991) apresenta as quantidades dos principais íons contidos no Oceano Atlântico, disposto na tabela 3.

Tabela 3. Principal composição iônica do Oceano Atlântico (Fonte: DIN 4030 (1991)).

Íons	**Quantidade de íons (mg/L)**
SO_4^{--}	2.800
Mg^{++}	1.300
Ca^{++}	400
Cl^-	19.900
Na^+	11.000
K^+	400
pH	> 8

A água do mar apresenta elevada concentração salina, sendo o cloreto de sódio o composto em maior abundância, há também outros sais em menor concentração que compõem as água dos oceanos.

O vento é responsável pela agitação da superfície do mar gerando bolhas de ar que explodem, produzindo gotículas em forma de jorro, película ou espuma. Na zona de quebra das ondas, também geradas pelos ventos e movimentos das marés, há formação elevada dessas gotículas, compostas de sais cristalizados, que em seguida são transportados em direção ao continente, encontrando como barreira a topografia e edificações costeiras, ocorrendo desta forma, a deposição dos agentes agressivos.

A ampliação da velocidade do vento culmina no aumento da quantidade de partículas de sais cristalizados suspensas na atmosfera marinha, essas partículas formam-se em tamanhos que variam de 0,1 a 400 µm, sendo as de tamanho elevado de mais fácil deposição nas estruturas expostas (FITZGERALD, 1991 apud PONTES, 2006).

Meira *et al* (2006) explica que o vento em velocidades a partir de 3m/s desenvolve efeito acentuado na deposição de cloretos, refletindo no comportamento temporal do aerosol, apresentando maior concentração salina em determinadas épocas do ano, sendo estas as de ventos mais intensos, dependendo de cada região.

Barbosa *et al*. (2003) verificaram a concentração de cloretos em pilares sem revestimento, em diversos pavimentos em um edifício, numa estrutura de 40 pisos, localizada a 700 m do mar, construída na década de 70 e que se encontrava abandonada até a data do estudo referenciado, concluindo que a concentração de cloretos em níveis mais altos decresce gradualmente.

Essa relação se deve às partículas maiores que se depositam mais rápido, influenciadas pela gravidade, não alcançando maiores alturas.

A distância em relação ao mar é outro fator que influência o ataque por cloretos, conforme mencionado anteriormente, as partículas cristalizadas de sais oriundas da formação do aerosol marinho são levadas pelo vento, e o efeito gravitacional juntamente com a fricção das partículas nas barreiras existentes, promove a deposição dos cloretos, diminuindo gradualmente a concentração da névoa salina. Desta forma em determinado ponto distante do mar, a presença de cloretos se torna insignificante, do ponto de vista da agressividade às estruturas.

4. MECANISMOS DE INGRESSOS DE CLORETOS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO.

Os cloretos atuam nas estruturas de concreto despassivando as armaduras e aumentando a condutividade elétrica acelerando o processo de corrosão, além disso, os íons cloro participam das reações para formação dos produtos de corrosão, havendo uma expansão das armaduras, o que gera manchas e fissuras, comprometendo a vida útil das estruturas (HELENE, 1997).

Em ambientes marinhos, onde a concentração de cloretos na atmosfera atinge níveis máximos, a absorção de íons agressivos pelos poros do concreto ocorre gradualmente até atingir teores críticos, provocando a despassivação das armaduras e dando início ao processo de corrosão.

Para que a difusão dos cloretos presentes no meio externo ocorra, penetrando efetivamente nos poros do concreto, é necessária a ocorrência de alguns mecanismos de transporte que levam ao movimento e concentração iônica dos cloretos no concreto, são eles: absorção capilar, temperatura, umidade, difusão iônica e permeabilidade sobre pressão (CASCUDO 1997).

5. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS PARA MAPEAMENTO DAS ATMOSFERAS MARINHAS.

O mapeamento pode ser feito através de diversos estudos, dentre eles pode-se destacar os ensaios: vela úmida, presença de cloretos no concreto, análise de absorção de cloretos em corpos de prova de concreto. Tendo como exemplo diversos trabalhos bem sucedidos que foram realizados no Brasil, percebe-se que é um procedimento simples, porém deve ser analisado de forma diferente para cada região.

5.1 Ensaio de presença de cloretos no concreto

A solução de nitrato de prata serve para avaliar a presença de cloretos nos concretos e nas argamassas, com base na aplicação de indicadores químicos, que em presença de cloretos apresentam mudança em sua coloração. Pode-se saber dessa forma se há presença de cloretos na estrutura em questão. Com isso, facilitando antes de proceder ao envio de amostras para ensaios laboratoriais.

França (2011) aponta o método de aspersão de nitrato de prata para verificação de cloretos em amostras de concretos e argamassas que foi desenvolvido por Dr. Mario Collepardi em 1970. Além de ser um método rápido e barato, a identificação pelo nitrato de prata trás outros benefícios como a verificação em qual profundidade está ocorrendo o ataque de cloretos. Lembrando que o ensaio só é possível ser realizado na presença de luz para que ocorra a reação fotoquímica.

É importante lembrar que o nitrato de prata é facilmente solúvel em água. Após preparada a solução de nitrato de prata, ela deverá permanecer em um recipiente escuro que evite uma variação de temperatura e a decomposição pela luz, ou seja, para que não haja a redução fotoquímica.

Faz-se necessário tomar certos cuidados quando realizados os ensaios, pois a frente de penetração no corpo exposto aos cloretos não é uniforme. Por isso é importante à verificação em vários pontos das estruturas para que se evitem os erros. A figura 2 mostra a realização e analise da frente de penetração de cloretos em corpos de prova.



Figura 2: Aspersão de nitrato de prata em corpos de prova submetidos à solução salina

O ensaio apresenta caráter de fácil e rápida execução, sendo necessário a princípio apenas o composto de nitrato de prata para realização do procedimento. É indicado o uso de paquímetro para medir a profundidade de ingresso de cloretos, indicada pela coloração branca, a medição deve ser feita em pontos distintos e calculada a média para definição da espessura de penetração dos cloretos. Caso o objetivo seja verificar a deposição de cloretos na superfície do concreto. A simples aspersão superficial do nitrato de prata já será suficiente. Vale salientar que estruturas submetidas a precipitações (lavagens) podem não apresentar a presença de cloretos superficialmente, sendo preferível a realização do ensaio em estruturas protegidas da chuva.

5.2 Ensaio com vela úmida (ABNT NBR 6211: 2001)

A vela úmida é uma análise normatizada pela ABNT NBR 6211: 2001(Corrosão atmosférica - Determinação de cloretos na atmosfera pelo método da vela úmida). Essa norma tem por finalidade determinar através de estudos químicos o teor de cloreto na atmosfera. O método consiste basicamente em deixar frascos coletores de cloretos espalhados em pontos estratégicos. Esses frascos contém um cilindro envolvido em gaze cirúrgica, sendo o conjunto fixado no frasco com uma rolha. Parte da gaze fica imersa em água destilada como representado na figura 3. Essas amostras posteriormente são coletadas no período aproximado de 30 dias. Após a coleta do líquido que é retirado dos frascos e levado para laboratório é feito a análise. Esses dados obtidos nas análises indicam o teor de cloreto presente no local da amostra.

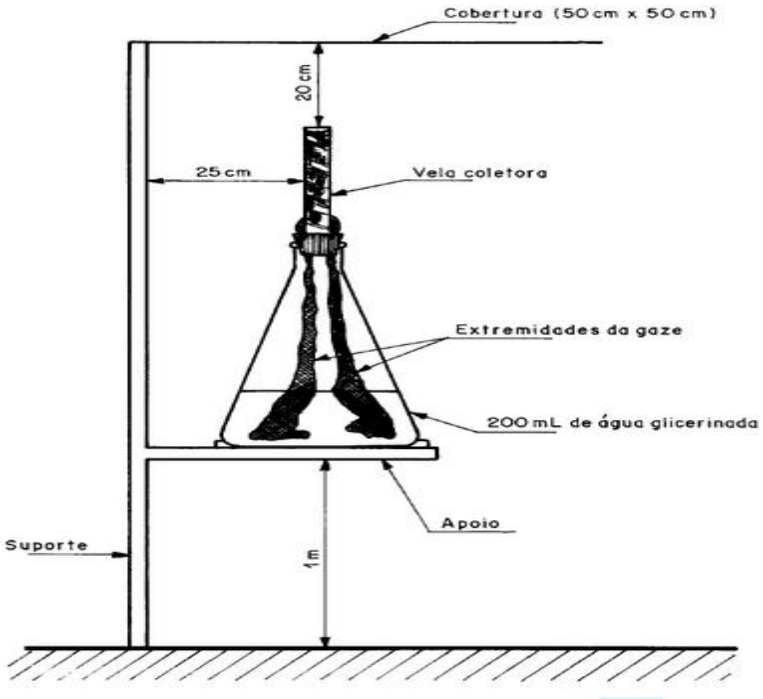

Figura 3: Suporte da vela úmida (Fonte: ABNT NBR 6211:2001)

O aparato da vela úmida auxilia no mapeamento da concentração de cloretos na atmosfera marinha. As partículas de sais presentes na névoa salina sofrem influência da gravidade ao longo do seu trajeto até se depositarem; obstáculos tais como edificações, vegetação, relevo; também agem de forma a impedir que os cloretos atinjam grandes distâncias. Para determinar as estações de monitoramento dos frascos do aparato da vela úmida, verificam-se todos os possíveis obstáculos que possam influenciar o transporte do aerosol marinho, para que ocorra uma amostragem que represente de forma fiel as características da atmosfera marinha em estudo.

5.3 Análise de teor de cloretos no concreto

O ensaio de teor de cloreto demanda, antes de iniciar a pesquisa, a definição dos pontos de monitoramento e coleta das amostras, o tempo de exposição dos corpos de prova, formato dos corpos de prova e forma de exposição. Romano (2009) concluiu que para cada relação a/c têm-se diferentes proporções de penetrações no concreto, com isso resolveu fazer esse ensaio com três corpos de prova de diferentes relações a/c.

Para preparação dos corpos de prova, confecciona blocos de concreto com suas dimensões planas onde melhor assemelhe com a maioria das edificações e tem um poder de impacto com o vento, simulando uma situação extrema. Espalhados esses blocos de concreto em um alinhamento perpendicular à orla com distâncias a serem determinadas de acordo com a região em estudo.

A melhor precisão dos resultados depende da integridade dos blocos no decorrer de sua exposição, da escolha do local que não só depende da distância do mar como a não interferência física de obstáculos, como prédios, muros, paredes e árvores. Tudo que possa agir como barreira ou de auxilio para o vento ocasionará em falsos resultados.

São coletadas periodicamente amostras de matérias para analise, essas amostras são retiradas coletando os resíduos que saem de um furo feito no bloco, furo esse com diâmetro e profundidade conhecida. O material coletado pode ser analisado no próprio local com a utilização de um laboratório portátil o CL-2000 de ensaio de cloreto para uso em obra. Os dados obtidos no ensaio saem em porcentagem de cloretos em ralação a massa de concreto, sabendo do percentual de cloretos presentes no concreto quando levado para exposição temos a quantidade de íons cloro penetrado no concreto em função do tempo.

6. ESTUDO DO AMBIENTE MARINHO NA FAIXA LITORÂNEA DA CIDADE DO NATAL /RN

A cidade do Natal, localizada no estado do Rio Grande do Norte, possui uma faixa litorânea de aproximadamente 21 km de extensão, apresentando uma considerável densidade de edifícios residenciais, comerciais, rede hoteleira, edifícios públicos, viadutos e a Ponte Newton Navarro, um dos cartões postais da cidade. Essa faixa ainda possui grande potencial construtivo para ampliação e desenvolvimento da cidade do Natal.

É evidente a necessidade de estudos no campo das influências e mapeamento do ambiente marinho da cidade do Natal, dentro da ótica do reconhecimento da concentração de cloretos na atmosfera e o potencial de atenuação da vida útil das estruturas a partir do ataque por cloretos. Com o grande propósito de subsidiar projetos estruturais, procedimentos executivos mais eficazes, reconhecimento da necessidade de investimentos em concretos mais resistentes ao ataque de cloretos, despertar a importância de manutenções preventivas, entre outros benefícios, tanto a nível local quanto regional.

A cidade do Natal está localizada na latitude 05°47'42'' e longitude 35°12'34'', com altitude média de 30 m acima do nível do mar. Ao leste é delimitado pelo Oceano Atlântico, tendo sua faixa litorânea estendendo-se pela zona Norte, Leste e Sul, distribuída por uma distância de aproximadamente de 21 km, sendo as zonas Leste e Sul detentoras da maior densidade de grandes edifícios em concreto armado. O rio Potengi, com extensa área de mangue, cruza a cidade separando a zona Norte do restante do distrito. Natal preserva em seu interior o segundo maior parque florestal urbano do Brasil, o Parque das Dunas, com vegetação característica e Mata Atlântica, por estar situado entre as praias e parte da zona sul da cidade, o parque atua como barreira natural ao aerosol marinho oriundo da quebra das ondas, Conforme mostra a figura 4.



Figura 4: Mapa de Natal/RN com as características de ocupação ao longo do litoral (Fonte: adaptado da Carta Potiguar).

É importante ponderar a presença de edifícios da rede hoteleira localizados na Avenida Governador Sílvio Pedrosa ou Via Costeira, que liga a zona Leste a zona Sul ao longo da orla,

paralelamente ao Parque das Dunas. Edifícios localizados a poucos metros do mar, e que sofrem a influência da alta concentração de cloretos na atmosfera.

O Clima de Natal é considerado tropical chuvoso quente com verão seco, os níveis de pluviométricos anuais giram em torno de 1.583 mm/ano, apresenta temperaturas médias anuais de 27,1°C; ocorrendo registros de temperaturas máximas de 30,0°C e mínimas de 21,0°C; a umidade relativa média anual é de 76%; e horas de isolação apresentam registros anuais médios de 2.700h (IDEMA, 2008).

Os ventos incidem continuamente durante todo o ano, a velocidade média registrada vai de 3,7 a 5,1 m/s (SILVA, 2002). A direção predominante dos ventos que incidem em Natal vem da direção Sudeste, dada a proximidade com a linha do Equador, com pequenas variações. Os ventos mais fortes são característicos de agosto e setembro, sendo Abril o mês de menor intensidade. A estação chuvosa ocorre entre os meses de abril e julho, com predominância em junho. São chuvas rápidas e moderadas, com duração de até 48 h, com 18 a 24 h de intervalo (MOTTA, 2004).

A tabela 4 apresenta um resumo das médias mensais dos registros climáticos de Natal, registrados entre 1986 a 2002, provenientes da Estação Climatológica Principal – INMET/ UFRN.

Tabela 4: Resumo dos dados climatológicos de Natal/RN (Fonte: Adaptado de Silva (2002)).

RESUMO DOS DADOS CLIMATOLÓGICOS DE NATAL/RN (PERÍODO 1984 - 2002)												
PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA (mm)												
MESES	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
MÉDIA	47,28	92,63	206,30	268,09	240,94	284,29	241,54	125,69	56,42	23,98	28,73	31,55
TEMPERATURA (°C)												
MESES	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
MÉDIA	27,46	26,90	27,51	27,16	26,77	25,82	25,01	26,66	26,66	26,73	26,95	27,17
UMIDADE RELATIVA DO AR (%)												
MESES	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
MÉDIA	77,00	78,37	79,87	82,44	82,94	82,56	81,75	79,12	76,50	75,12	78,25	77,31
INSOLAÇÃO (h/mês)												
MESES	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
MÉDIA	237,44	213,96	214,08	198,81	218,15	215,12	211,86	244,13	261,74	292,00	277,68	272,29
VELOCIDADE E SENTIDO DOS VENTOS PREDOMINANTES (m/s)												
MESES	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
MÉDIA	4,5	4,5	3,7	3,9	4,1	4,1	4,2	4,8	5,1	5,1	4,7	4,4
DIREÇÃO	E-SE	SE-E	SE-E	SE-E	SE-S	SE-S	SE-S	SE-S	SE-E	SE-E	SE-E	E-SE

O relevo do município se caracteriza por planície costeira formada por praias que tem como limites, de um lado o mar, e de outro os tabuleiros costeiros, há também a presença de dunas que conferem ondulações ao terreno; em relação à altitude, é inferior a 100 m, com média em torno de 30 m em relação ao nível do mar (IDEMA, 2008).

A figura 8 mostra resumidamente as características climatológicas e ambientais da região da cidade do natal/RN, que influenciam na emissão e concentração e absorção de cloretos na atmosfera.

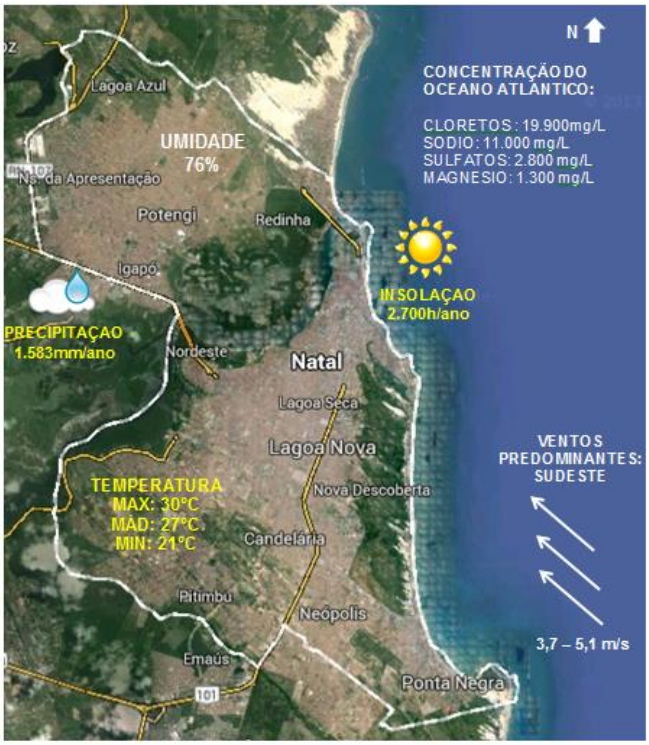

Figura 5: Mapa do município de Natal/RN com dados climáticos e ambientais

A figura 5 mostra o perfil climatológico e ambiental da região da cidade de Natal, a composição molecular do oceano Atlântico apresenta alta concentração e íons agressivos ao concreto, influenciando diretamente na concentração de cloretos oriundos do quebrar das ondas e do transporte pelo vento. Este último se caracteriza como fundamental elemento para a formação e transporte do aerosol marinho, na orla de Natal os ventos predominantes, vindos da direção sudeste, apresentam velocidades a partir de 3,7 m/s; suficiente para geração acentuada de cloretos na atmosfera, Meira (2004), aponta que a partir de 3m/s, o vento contribui efetivamente na geração do aerosol marinho.

A precipitação no ambiente marinho tem sua influência ligada diretamente ao aumento do grau de saturação superficial dos poros do concreto, diminuição da concentração superficial de cloretos no concreto, aumento da umidade relativa do ar, diminuição da temperatura, alterações na deposição de cloretos. Embora maior parte do ano, na região de Natal, permanecer em regime de estiagem, são registrados períodos chuvosos, principalmente entre abril e julho, como já citado, aumentando a umidade relativa do ar, o que acarreta aumento do grau de saturação nos poros do concreto, facilitando a absorção dos cloretos livres que se depositaram na superfície do concreto.

Apesar de Natal apresentar breves períodos chuvosos, a umidade relativa se mantém alta e constante durante todo o ano, em torno de 76%, acima dos níveis mínimos para facilitar os processos de difusão e absorção de íons agressivos no concreto. Aliado a umidade, as altas temperaturas também contribuem para aumentar o coeficiente de difusão dos íons nos poros

do concreto, os altos índices de insolação em Natal, em torno de 2700h, e temperaturas constantes em torno de 27°C, caracterizam um ambiente favorável para rápida absorção de cloretos.

Avaliando o perfil ambiental e climatológico da cidade do Natal percebe-se um alto potencial para emissão e transporte de cloretos na atmosfera.

A presença do Parque das Dunas, reserva de Mata Atlântica, com extensão de aproximadamente 7,3 km ao longo do litoral natalense, atua como barreira natural ao transporte do aerosol marinho, pois a fricção dos sais em suspenção na vegetação do parque empreende a deposição mais rápida, e consequente redução da concentração do aerosol na atmosfera.

Apesar desse atenuante, a cidade do Natal necessita de um estudo detalhado da emissão e concentração de cloretos ao longo da costa, levando em consideração as concentrações ao longo da distância em relação ao mar, e como os mecanismos de ingressos de cloretos nos poros do concreto se comportam no ambiente marinho de Natal.

7. PROPOSTA DE ESTUDO DA CONCENTRAÇÃO DE CLORETOS EM NATAL/RN

Com o propósito de dar uma contribuição a trabalhos futuros que abordem a temática da concentração e alcance do aerosol marinho, como também os mecanismos de absorção de cloretos no concreto no ambiente marinho de Natal/RN; este artigo lança uma proposta de plano de estudo e experimentos para o mapeamento e caracterização das concentrações de cloretos na faixa litorânea da cidade do Natal. As diretrizes apontadas têm como referência trabalhos realizados em outras regiões do Brasil, entre eles, os estudos de Meira (2002), em João Pessoa/PB, utilizando o aparato da vela úmida; Romano (2009), em Tamandaí/RS, que realizou análises de absorção de cloretos no concreto exposto em ambiente marinho; os trabalhos de Mota (2011), em Recife/PE, avaliando a presença de cloretos por aspersão de nitrato de prata, entre outros.

Tomando como base estudos já realizados em outras regiões, a utilização dos ensaios de vela úmida e teor de cloretos no concreto, de forma simultânea, atende de forma mais adequada para avaliação e discursão dos resultados. Desta forma, se propõe a criação de estações de monitoramento compostas por um aparato de vela úmida (concentração de cloretos na atmosfera em relação ao mar) e corpos-de-prova de concreto com diferentes graus de porosidade, a fim de analisar o comportamento dos mecanismos de ingressos de cloretos nos poros do concreto no ambiente marinho de Natal.

Para melhor definição das estações de monitoramento ao longo do litoral natalense, seria cabível um pré-mapeamento da presença de cloretos por aspersão de nitrato de prata em estruturas existentes na cidade. Trabalhos de Meira (2002) e Pontes (2006) apontam que a concentração de cloretos na atmosfera após 600 a 800 m do mar passam a apresentar níveis

insignificantes, desta forma é necessário avaliar a necessidade de locação de estações de monitoramento além de 800 a 1000 m de distância ao mar. Ensaios prévios com nitrato de prata em estruturas expostas nas distâncias de 1000, 1500 e 2000 m ao longo da faixa litorânea da cidade podem auxiliar na percepção da zona de influência do aerosol marinho, contribuindo para determinação das estações de monitoramento.

Vale ressaltar que a presença do Parque das Dunas atuando como barreira natural ao transporte do aerosol marinho pelo vento, divide a cidade em duas regiões de maior densidade de edificações expostas à névoa salina, a primeira a região de Ponta Negra e a segunda é faixa que vai de Areia Preta até o rio Potengi, como apontado na figura 05; áreas de grande potencial construtivo, e de caráter estratégico para implantação de estações de monitoramento. Além dessas duas áreas citadas, há o Bairro Redinha, na Zona Norte de Natal, com ocupação, em sua maioria, de edificações unifamiliares, apresentando desta forma menos obstáculos ao aerosol marinho, e maior viabilidade para implantação de estações de monitoramento.

Em suma, as estações de monitoramento devem ser locadas a distâncias graduais em relação ao mar, para posterior analise da curva de concentração de cloretos, e se possível conjunto de estações nas regiões de Ponta Negra, Areia Preta-Rio Potengi, e Redinha, desta forma é possível, após análise dos resultados, traçar uma linha limítrofe onde os cloretos passam a atuar em concentrações insignificantes, ou seja, determinar a faixa que pode ser considerada como ambiente marinho na região urbana de Natal.

Definidos os locais de monitoramento, os dois ensaios propostos são: o aparato da vela úmida e análise dos teores de cloretos no concreto, ambos referenciados no item 06 deste trabalho. O ensaio da vela úmida é normatizado pela ABNT NBR 6211: 2001, sendo sua execução e análise dos resultados descriminados nesta norma. A determinação de teor de cloretos no concreto, apesar de não possuir norma nacional, já foi utilizado em muitos trabalhos científicos, entre eles, o de Romano (2009), em que são utilizados corpos-de-prova retangulares, com diferentes relações a/c, sendo o teor de cloretos absorvidos pelo concreto determinado com equipamento CL-2000 de ensaio de cloretos para uso em obras.

O processamento dos dados obtidos durante a pesquisa pode ser realizado em gráficos, lançando a curva de concentração de cloretos atmosfera ao longo da distância em relação ao mar (Concentração – mg/m².dia x Distância – m), tendo como exemplo a figura 02, onde Meira *et al* (2002), interpreta graficamente o comportamento do aerosol marinho em uma faixa de 1100 m.

O período de monitoramento deve ter duração suficiente para avaliar o comportamento do aerosol marinho nos períodos de ventos fortes (agosto - setembro) e fracos (abril), e períodos de estiagem e chuvosos (Abril – julho). O período de oito meses para monitoramento atende de forma satisfatória para análise dos resultados.

É de fundamental importância reunir os dados climatológicos e ambientais registrados na cidade nos últimos três anos anteriores à pesquisa, a fim de conhecer o perfil atual do comportamento climático da região.

O recolhimento e análise de amostras da água do mar, em pontos distribuídos na orla da cidade, ajudarão a entender o perfil da composição iônica e a concentração de sais, proporcionando a identificação da homogeneidade ou variabilidade da concentração salina da água do mar durante o período de monitoramento, além disso, será possível reconhecer uma possível variação da concentração salina ao longo da litoral urbano de Natal, devido principalmente à foz do Rio Potengi que separa a Zona Norte da Zona Leste da cidade. Estas análises são necessárias, tendo em vista, que a concentração salina da água do mar está ligada diretamente a formação de partículas salinas suspensas na atmosfera.

A seguir é proposto um fluxograma de programa experimental para futuras pesquisas realizadas em Natal/RN no âmbito do comportamento do aerosol marinho, adaptado de Romano (2009), mostra a sequencia das etapas e a base para o planejamento da pesquisa.

8. CONCLUSÃO

A partir da pesquisa realizada chega-se a conclusão que a faixa litorânea de Natal/RN apresenta fatores climatológicos e ambientais favoráveis à formação e transporte do aerosol marinho na atmosfera, além disso, o clima da cidade, tendo como fatores a alta temperatura e umidade relativa, contribui com a eficiência dos mecanismos de ingresso de cloretos nos poros do concreto, dando ao ambiente marinho de Natal um perfil de agressividade que deve ser considerado criteriosamente pelos projetistas estruturais, a fim de se garantir a devida durabilidade às estruturas localizadas próximas à orla.

Observa-se também a necessidade de realização de estudos de mapeamento da influência do aerosol marinho. Como proposto neste artigo, pesquisas utilizando estações de monitoramento, com ensaios de determinação da concentração de cloretos na atmosfera pelo aparato da vela úmida, análise da presença de cloretos por aspersão de nitrato de prata, e determinação de teor de cloretos no concreto; apresentam-se como procedimentos viáveis e eficazes na determinação da influência dos cloretos em relação à distância ao mar, tendo como referencia estudos realizados em outras regiões do Brasil, e que podem ser empregados em Natal sem maiores dificuldades, necessitando apenas de um planejamento prévio e estudos mais aprofundados do perfil climatológico, ambiental e topográfico da cidade.

A delimitação do alcance do aerosol marinho, definindo a faixa territorial de agressividade às estruturas classe III, não apenas em Natal, mas em todas as cidades litorâneas do Brasil, contribuirá imensamente para que projetos estruturais, métodos executivos, e utilização de materiais, se tornem mais eficazes e econômicos, garantindo maior desempenho, qualidade e vida útil às estruturas de concreto armado.

9. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:2007: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6211:2001: Corrosão Atmosférica – Determinação de cloretos na atmosfera pelo método da vela úmida.** Rio de Janeiro, 2001.

DEUTSCHES INSTITUT FUR NORMUNG. **DIN-4030 Part. 1** (1991). Assessment of water, soil and gases for their aggressiveness to concrete: principles and limiting values.

HELENE, P. R. L. **Corrosão em armaduras para concreto armado.** São Paulo: PINI, 1986.

LIBES, S. **in introduction to marine biochemistry.** John Wiley and Sons. 1992.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** 1° ed. São Paulo: PINI, 1994.

MEIRA *et al*. **Deposição de cloretos em zona de atmosfera marinha: comportamento sazonal e sua relação com estruturas de concreto.** Trabalho apresentado no XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído p. 3020 – 3028. Florianópolis, 2006.

MOTTA, A. G. **O clima de Natal.** INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. São José dos Campos, 2004.

MOTA, J. M. F *et al*. **Análise das patologias em estruturas de concreto na zona litorânea da cidade do Recife-PE.** In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE PATOLOGIA. 10. 2009. Chile. 2009.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** Tradução Salvador E. Giammusso. 2° ed. São Paulo. Pini, 1997.

PONTES, R. B. **Disseminação de Íons Cloretos na Orla Marítima do Bairro de Boa Viagem, Recife-PE.** 2006. Dissertação. (Pós-graduação em Engenharia Civil). Universidade Católica de Pernambuco. 2006.

SEMARH / IDEMA-RN. SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HIDRÍCOS / INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE. **Perfil do seu município: Natal/RN.** 2008. Disponível em: < http://www.portal.rn.gov.br/contentproducao/aplicacao/idema/socio_economicos/arquivos/Perfil%202008/Natal.pdf>. Acesso em: 02 nov 2013.

SILVA, E. A. J. **As dunas eólicas de Natal/RN: Datação e evolução.** Dissertação (Mestrado em Geodinâmica) – Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica. UFRN. Natal. 2002.