

Verificação de penetração de cloretos em corpos de prova parcialmente imersos em água do mar em Recife, Pernambuco

R. Berenguer^{1*} , A. Passos² , E. C. B. Monteiro^{2,3} , P. Helene⁴ , Â. Just² , R. Oliveira^{1,2} , M. Medeiros⁵ , A. Carneiro¹ 

* Autor de Contato: templarios_pm@hotmail.com

DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i2.195>

Recepção: 11/08/2017 | Aceitação: 17/03/2018 | Publicação: 30/04/2018

RESUMO

A pesquisa objetivou analisar através de ensaios químicos, o quantitativo de íons cloretos em concretos de diferentes traços (proporção de materiais), em suas profundidades. Para tanto, foram realizados ensaios em laboratórios, sendo confeccionados corpos de prova com a parcial imersão em água do mar de acordo com as normas e método de Mohr. Com os resultados verificou-se que o percentual de penetração de íons cloreto é menor para o traço rico, em relação aos demais. Sendo assim, conclui-se que quanto maior a resistência do concreto, maior será a resistência à penetração de íons cloretos, porém estes resultados são esperados, pois o concreto com maior resistência e mesmos materiais tende a dificultar a entrada desses íons.

Palavras-chave: íons de cloreto; método de Mohr; água do mar.

Citar como: R. Berenguer, A. Passos, E. C. B. Monteiro, P. Helene, Â. Just, R. Oliveira, M. Medeiros, A. Carneiro (2018), " *Verificação de penetração de cloretos em corpos de prova parcialmente imersos em água do mar em Recife, Pernambuco*", Revista ALCONPAT, 8 (2), pp. 108 - 122, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i2.195>

¹ Departamento de Engenharia Civil-Estruturas e Materiais, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, Brasil.

² Departamento de Engenharia Civil, Universidade Católica de Pernambuco, Recife-PE, Brasil

³ Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco, Recife-PE, Brasil

⁴ Ph.D.-Engenharia, Departamento de Engenharia Civil, Rua Visconde em Ouro Negro, São Paulo, Brasil

⁵ Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, Brasil.

Informações legais

Revista ALCONPAT é uma publicação trimestral da Associação Latino-Americana de Controle de Qualidade, Patologia e Recuperação de Construção, Internacional, A.C., Km. 6, antiga estrada para Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Website: www.alconpat.org

Editor responsável: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de direitos de uso exclusivo: No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional de Direitos Autorais. Responsável pela última atualização deste número, Unidade de Informática ALCONPAT, Eng. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antiga estrada para Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.

As opiniões expressas pelos autores não refletem necessariamente a posição do editor.

É totalmente proibida a reprodução total ou parcial dos conteúdos e imagens da publicação sem autorização prévia do ALCONPAT International A.C.

Qualquer discussão, incluindo a resposta dos autores, será publicada no primeiro número do ano 2019, desde que a informação seja recebida antes do fechamento do terceiro número do ano de 2018.

Checking for chloride penetration in test samples partially immersed in seawater in Recife, Pernambuco State

ABSTRACT

The objective of this research is to analyze, using chemical tests, the quantity of chloride ions in concretes with different traces (proportions of materials) in their depths. To do so, tests were performed in laboratories, and test samples were made with partial immersion in seawater, in accordance with the standards and Mohr method. The results confirmed that the penetration percentage of chloride ions is less for the rich trace, in relation to the others test samples studied. Accordingly, it is concluded that the stronger the concrete the greater the penetration resistance of chloride ions, but these results are to be expected, since the concrete with greatest strength and same materials tends to hinder the entry of those ions.

Keywords: chloride ions; Mohr method; seawater.

Verificación de penetración de cloruros en cuerpos de prueba parcialmente sumergidos en agua de mar en Recife, Pernambuco

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es analizar a través de ensayos químicos, la cantidad de iones cloruros en concretos de diferentes trazos (proporciones de materiales) en sus profundidades. Para ello, se realizaron ensayos en laboratorios, siendo fabricadas probetas con inmersión parcial en agua de mar según las normas y el método de Mohr. Con los resultados se verificó que el porcentaje de penetración de iones cloruro es menor para el trazo rico, en relación con las demás probetas estudiadas. Siendo así, se concluye que cuanto mayor sea la resistencia del concreto, mayor será la resistencia a la penetración de los iones cloruros, sin embargo, estos resultados son esperados, pues el concreto con mayor resistencia y mismos materiales tiende a dificultar la entrada de estos iones.

Palabras clave: iones de cloruro; método de Mohr; agua de mar.

1. INTRODUÇÃO

Desde o início do século XX já se tem registros de utilização do concreto armado no Brasil, mas a utilização do concreto nas construções tomou força a partir dos anos 50. Tal acontecimento se deu por conta da herança da revolução industrial que modificou técnicas e trouxe novos materiais.

De acordo com Mehta e Monteiro (2014) o concreto só é superado pela água como material mais consumido no planeta. Pela sua resistência e versatilidade formal o concreto além de desenvolver um papel importante nas construções civis, vem sendo largamente utilizado pelos arquitetos em obras, pela possibilidade de formatos, valorização estética das estruturas e usos, podendo ser moldado dando margem à criatividade, principalmente quando usado aparente, sem revestimento. Com o passar do tempo às construções passaram a apresentar diversas manifestações patológicas que degradam e podem causar até o seu colapso. Por isso, há necessidade de estudos e a pesquisas sobre o tema.

Entre as principais manifestações patológicas que atacam o concreto armado estão à ação do calor ou do frio, clima e umidade, reação álcalis /agregado, agressividade química, corrosão por carbonatação ou/e por cloretos (Cascardo et. al., 2014).

A penetração de íons de cloretos afeta as construções em locais litorâneos ou junto ao mar que possuem grande concentração de íons cloretos livres. Eles são considerados como a maior causa de corrosão prematura das estruturas. (Ribeiro e Medeiros, 2014)

O Brasil possui vários equipamentos e construções que estão em contato direto ou semidireto com o mar. Recife, capital de Pernambuco, é uma das cidades que mais tem equipamentos urbanos em contato com a água do mar. Edifícios, pontes, ancoradouros, passarelas, enfim, projetos que determinam estruturas em concreto em ambiente marítimo: ambientes de zona submersa, parcialmente submersa, zona de maré, zona de respingo e zona de névoa. As águas do mar contêm elevada quantidade de íons de cloretos e essa exposição torna mais vulnerável essas estruturas de concreto. (Pitan et. al., 2015)

Portanto, se faz necessário a pesquisa e a construção de parâmetros e relações que permitam tomadas de decisões sustentáveis e econômicas dos projetos e o aumento da vida útil das estruturas de concreto.

Esta pesquisa tem como objetivo investigar, através de ensaios químicos a penetração de cloretos em exemplares de concreto de diferentes (proporções dos materiais), caracterizados como: pobre, médio e rico; parcialmente submersos em água do mar. Para isso, será utilizado a ISO TC 71/SC 1 como referência aos procedimentos de penetração de cloretos e será utilizado o método de Mohr como referência dos ensaios em laboratório químico.

1.1 Ambiente marinho

Segundo a NBR 6118:2014 o ambiente marinho é reconhecidamente agressivo às estruturas de concreto, onde está inserido na classe de agressividade IV. A influência dele na durabilidade das estruturas de concreto depende do microclima no qual ela se encontra (Cascardo et. al., 2014). Os agentes agressivos presentes no ambiente marinho provocam tanto a corrosão das armaduras quanto a corrosão do concreto (matriz de cimento) (Lima e Morelli, 2004).

Segundo Andrade (2001) e Medeiros (2012), a penetração de cloretos no concreto pode acontecer de modos diferentes, onde em primeiro lugar trata-se da incorporação de cloreto à massa de concreto, o que vem se tornando mais improvável devido às limitações impostas pelas normas vigentes. Como exemplos dos outros mecanismos têm os mais usuais que são a absorção capilar e a difusão, que dependem de fatores externos.

Segundo Daniel (2014), a absorção capilar é um mecanismo onde os cloretos presentes em um meio líquido penetram no concreto a partir do fluxo deste líquido, pelo efeito da tensão superficial atuante nos poros capilares. Segundo Daniel (2014) e Meira (2009), este mecanismo depende do diâmetro dos poros, da tensão superficial do líquido, da sua densidade e da sua viscosidade.

A difusão é um mecanismo que ocorre devido a gradientes de concentração de cloretos. Os cloretos em regiões maiores concentração se movem para regiões de concentração mais baixa (Meira, 2009).

Em 2014 a NBR 6118, destaca um capítulo sobre o tema, onde se determina as classes de agressividade ambiental para construções de concreto em áreas urbanas ou rurais, identificando-as como: fraca, moderada, forte ou muito forte.

Tal regulamentação já informaria os cuidados tanto ao tipo de concreto, bem como a especificação do recobrimento da armadura. O cobrimento nominal a ser adotado de acordo com o componente ou elemento de concreto armado ou protendido. A NBR 6118:2014, já recomenda que o cobrimento devesse ser respeitado em obras inclusive em de pouco ou nenhum controle, uma vez que este é igual ao cobrimento mínimo mais um fator de tolerância.

A maioria das construções em contato direto com o ambiente marinho, adquirem manifestações patológicas em pouco tempo de construídas, com grande decomposição do concreto e elevada corrosão das armaduras (Daniel, 2014). A água do mar possui elevada quantidade de íons de

cloretos. A classificação entre ambientes agressivos e não agressivos é muito relativa e refere-se, principalmente, aos teores de H_2S , SO_2 , NO_x , SO_4 , Cl^- (Helene, 1986).

Para Medeiros (2014), esses óxidos são extremamente agressivos e contribuem, para aceleração do processo de corrosão das armaduras embebidas em concreto, mesmo quando em pequenas proporções. Como referência, pode-se que a velocidade de corrosão em atmosfera marinha pode ser da ordem de 30 a 40 vezes superior à que ocorre na atmosfera rural pura (Ribeiro e Helene, 2014).

Em cidades que estão sujeitas a essa exposição salina, as construções de concreto ou concreto armado aparente, ora em contato com água do mar ora não; a vontade dos mares sempre sofre manifestações patológicas e desgastes mecânicos que exigem permanente manutenção (Cascardo et. al., 2014).

Alguns projetos determinam estruturas em concreto em ambiente marítimo: ambientes de zona submersa e parcialmente submersa em água do mar, zona de maré alta e baixa, zona de atmosfera, zona de respingo e zona de névoa (Cascardo et. al., 2014).

A água do mar é um dos elementos da natureza que mais causa danos a estruturas de concreto. Em sua composição é possível encontrar elementos componentes de certos compostos químicos.

Segundo Lima e Morelli (2004), os oceanógrafos identificam os elementos distribuídos nas águas dos oceanos, bem como, seus diversos estados e componentes de compostos químicos. Alguns compostos são estáveis, como os que contêm sódio e potássio; e outros são relativamente instáveis, como os que contêm silício e magnésio. A grandeza de concentração pode ser determinada em 3 grupos:

- Elementos Inorgânicos Maiores - Cl, Na, S, Mg, Ca, K (são aqueles que se apresentam em quantidades maiores que 100 partes por milhão (ppm)), ou 100 mg por litro (mg/L) equivalente a 10% em massa.
- Elementos Menores - Br, C, Sr, B, Si, F (são aqueles que se apresentam em quantidades maiores que 1 mg e menos que 100 mg/L, ou seja de 0,1% a 10%)
- Elementos Traços - N, Li, Rb, P, I, Fe, Zn, Mb (são aqueles que se apresentam em quantidades menores que 0,1%).

A composição da água do mar, que pode variar de acordo com a temperatura, a latitude, profundidade e aproximação do continente, vem sendo pesquisada ao longo dos tempos. No século 19, Dittmar em 1870, após a análise de milhares de amostras de água de todos os mares, constatou que, sabendo que apesar de quantidade variáveis de sais dissolvidos no total, as proporções dos elementos principais são constantes. A salinidade varia de 3,3% a 3,7% no oceano aberto; sendo a média geral de salinidade para todos os oceanos é de 3,5%.

1.2 A cidade do Recife e o contato com o mar

Recife, a capital Pernambucana é conhecida como a Veneza Brasileira devido as suas construções junto aos rios e ao mar, pontes que montam sua paisagem urbana, sendo uma das cidades que mais tem equipamentos urbanos em contato com a água do mar. Na Fig. 1 tem-se uma vista panorâmica do município de Recife.



Figura 1. a) Vista panorâmica do Recife /Pe. Fonte: Google Maps (2017) Disponível em: <<http://embrasil.s3.amazonaws.com/upload/ciudad/81C-37.jpg>>. Acesso em: 11/07/2017.
b) Vista do mapa do Brasil, com destaque para Recife, Pernambuco.

Recife, por ser uma cidade litorânea, de clima quente, umidade alta e predominância dos ventos vindos da direção do oceano atlântico sofre, em suas estruturas de concreto agressões de agentes das manifestações patológicas de diversos tipos. De acordo com a NBR 6118:2014, Lima, Morelli (2004), Daniel e Medeiros (2014) classificaram e definiram quatro zonas de agressividade que se enquadram bem ao que acontece nas estruturas de concreto existentes na cidade. Tais regiões são:

- Zona de atmosfera marinha: nesta região a estrutura recebe, apesar de não estar em contato com a água do mar, uma quantidade razoável de sais, principalmente o cloreto, capaz de produzir depósitos salinos na superfície, na forma de partículas sólidas ou como gotas de solução salina. A quantidade de sais presente vai diminuindo em função da distância do mar, sofrendo influência da velocidade e direção dos ventos predominantes. O mecanismo principal de degradação presente nesta zona é a corrosão das armaduras pela ação dos íons cloreto;
- Zona de respingos: é a região onde ocorre a ação direta do mar, devido às ondas e aos respingos. Os danos mais significativos são produzidos por corrosão das armaduras pelos íons cloreto e por erosão, devido às ondas.
- Zona de variação de marés: esta região está limitada pelos níveis máximos e mínimos alcançados pelas marés e, devido a isso, o concreto pode encontrar-se quase sempre saturado, dependendo das condições climatológicas e com uma crescente concentração de sais. A degradação acontece devido à ação dos sais agressivos (ataque químico), corrosão de armaduras (devido à presença de íons cloretos), ação das ondas e outras substâncias em suspensão (abrasão) e micro-organismos.
- Zona submersa: o concreto nesta região encontra-se permanentemente submerso. A degradação acontece pela ação de sais agressivos (íons sulfato e magnésio) e pela ação de micro-organismos, que em casos extremos, pode gerar a corrosão biológica das armaduras.

1.3 Método de Mohr

A necessidade de identificar como ocorre a penetração de cloretos em estruturas concreto armado se faz necessária pois é ela que posteriormente provoca a corrosão. Vários métodos têm sido desenvolvidos para tal, entre eles, o método colorimétrico de aspensão de nitrato de prata, que é um ensaio qualitativo de identificação de cloretos livres em concretos e o método de Mohr que é um método de ensaios em laboratório que utiliza a titulação também com nitrato de prata.

De acordo com Mota (2011), o método colorimétrico de aspensão por nitrato de prata usa a metodologia baseada na aplicação de um indicador químico capaz de alterar a coloração do concreto na presença de cloretos. Este apresenta variáveis, segundo estudos dos pesquisadores

Otsuki, Andrade e Meck, como tipo de cimento, fator água / cimento e tipo de material utilizado, como mostrado na Tabela 1.

Esse método foi desenvolvido em 1970 pelo Dr. Mário Collepardi com intuito de verificar em amostras de concreto a existência ou não de cloretos e, assim, poder determinar a frente de penetração de cloretos nas estruturas expostas a ambientes marinhos. Esta técnica contribuiu também para a determinação do processo de fixação dos cloretos livres na matriz cementícia (MOTA,2011).

Para realização do método de MOHR se utiliza nas amostras de concreto primeiro a solução de K_2CrO_4 a 5% (cromato de potássio), que funciona como indicador, colorindo de amarelo e posteriormente se goteja com medição a solução de nitrato de prata ($AgNO_3$) 0,0141M até a amostra líquida obter a coloração “cor de telha” para se fazer a titulação e se entender a combinação dos íons livres da amostra de concreto.

Tabela 1. Resumo de algumas variáveis envolvidas nas pesquisas do método colorimétrico de aspersão de nitrato de prata.

Tipo de Cimento	Tipos de CP's	a/c	Teor de Cloretos Limite para mudança de cor	Ano	País	Pesquisador
Cimento Portland Comum	Pasta	0,4	0,15%	1992	Japão	Otsuki et.
	Argamassa	0,5 e				
	Concreto	0,6				
Cimento Portland Comum e Cimento Portland com adição	Concreto	0,4 e 0,7	1,13 a 1,4%	1999	Espanha	Andrade et.
Cimento Portland Comum e Cimento Portland com adição	Concreto	-	0,90%	2003	Australia	Meck

Fonte: Mota (2011).

1.4 Normatização: ISO TC71/SC 1(26-07-2010) E ISO/WD 1920-11

Segundo esta ISO as estruturas de concreto armado expostas ao ingresso de cloretos, seja de águas marinhas ou de outras fontes, devem atender aos critérios de durabilidade para os quais foram projetadas, por pelo menos todo o tempo de vida útil do projeto. A possibilidade de ocorrência de corrosão nas armaduras aumenta significativamente na medida em que o teor de cloreto paulatinamente se acumula no interior dessas estruturas. Por essa razão, o grau de difusão ou penetrabilidade do concreto representam importantes propriedades a serem avaliadas, ao passo em que estas especificações técnicas estabelecem um método de ensaio que pode ser aplicado a amostras preparadas para a avaliação das propriedades potenciais de resistência ao cloreto que uma dada mistura de concreto venha a apresentar.

Essas especificações técnicas representam um método para determinar os parâmetros de penetração unidirecionais do cloreto em estado não contínuo em corpos de prova de concreto endurecido pré-condicionados.

2. MATERIAS E MÉTODOS

Esta pesquisa tem como finalidade determinar o quantitativo de penetração de cloretos em corpos de provas, de diferentes resistências, em variadas profundidades.

Para isso, foram realizados ensaios nos Laboratórios da Universidade Católica de Pernambuco. No Laboratório de Materiais foram confeccionados os corpos de prova usando ensaios com a parcial imersão em água do mar e como referência dos processos as ISO TC 71/SC 1 de 26/07/2010, ISO/WD 1920-1, ISO TC 71/SC 1/WG SII NBR-9779. Em seguida, no Laboratório de Química, foi feito o método de Mohr.

Para o cálculo do percentual de cloreto absorvido pelas amostras, foi utilizada a equação 1 abaixo: Por se tratar de material considerado “inerte” os agregados, são levados em considerações nos cálculos, apenas a massa do cimento. Pois, levando em consideração o fato de que os componentes químicos presentes no cimento, são quem reage com os cloretos, em especial o C₃A.

$$\frac{mg}{L} Cl^- = \frac{(V1-V2) \times m \times mm \times 1000}{V_{amostra} \times \text{fator de diluição}} \quad (1)$$

Onde:

- V1 = volume da solução de AgNO₃ gasto para titular a amostra, em ml
- V2 = volume da solução de AgNO₃ gasto para titular o branco, em ml
- m = concentração molar da solução de AgNO₃
- mm = massa molar de Cl
- V amostra = 0,10 ml
- Fator de diluição = 1000/250 = 4

2.1 Caracterização dos materiais utilizados

- **Cimento:** O utilizado na pesquisa foi o CP II-F-32, nomeado segundo a ABNT de Cimento Portland composto com fíler (NBR 11578/91).
- **Areia grossa:** O agregado miúdo utilizado nesta pesquisa é natural de leito de rio, proveniente da cidade de Pombos, Pernambuco. A areia foi ensaiada no laboratório de materiais seguindo as normas de caracterização e distribuição granulométrica.
- **Brita:** O agregado graúdo utilizado foi uma pedra britada, de dimensão 25 mm, graduação 1 de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009).
- **Água potável:** Foi utilizada a água proveniente da rede de abastecimento público da cidade de Recife, COMPESA.
- **Água do mar:** A água do mar utilizada foi da praia de Boa Viagem, Recife, Pernambuco.

2.2 Moldagem dos corpos de provas

Foram moldados nove corpos de prova cilíndricos (10 x 20 cm) de concreto (Ver Tabela2) para três resistências mecânicas diferentes, baixa, média e alta, sendo três de cada. Após desmoldados todos os corpos de prova foram submetidos à cura úmida por 14 dias. Um de cada traço permaneceu na cura úmida até aos 28 dias para poder manter um padrão sobre todos e aferir suas resistências mecânicas.

Os outros seis corpos de prova foram divididos ao meio de sua altura, retificando-se os topos e permaneceram em ambiente seco por mais 14 dias, resultando um total de 12 corpos de prova de 10 x 10 cm. Aos 21 dias eles foram impermeabilizados em toda sua volta, deixando só os topos originais e retificados, como mostrado na Figura 2. Com 28 dias de idade foram submergidos em

água potável, ficando lá até os 35 dias onde foram retirados e colocados parcialmente submersos em água do mar, com um dos topos sobre fina cama de brita, por mais 7 dias, de acordo com a Figura 3. Aos 42 dias se retirou da água do mar, se deixou secar por 24 horas em ambiente natural e identificou cada um dos corpos de prova: pelo tipo de traço e pela divisão feita. A Tabela 2 mostra o traço unitário com as devidas proporções de materiais em massa em relação à massa de cimento, dos materiais utilizados. Para tanto, foram mantidos fixos os abatimentos em 160 ± 20 (mm), com a variação dos materiais secos.

Tabela 2. Traços do Concreto (unitário)

Tipo	Traço	Slump	a/c	Cimento	areia	brita	Resistência Média (MPa)
Pobre	1:3	160 ± 20	0,516	1	1,6	1,40	26,67
Médio	1:2	160 ± 20	0,370	1	0,95	1,05	32,33
Rico	1:1	160 ± 20	0,259	1	0,3	0,70	40,87

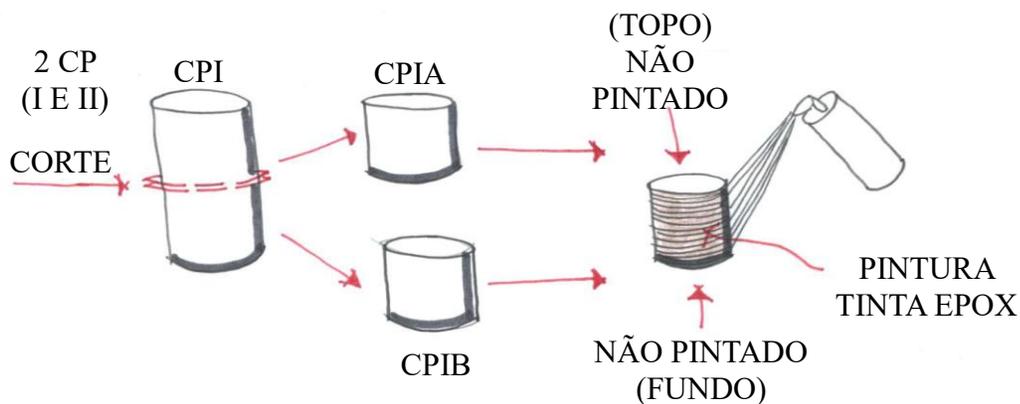


Figura 2. Processo de cortar nomear e pintar os CP (corpos de prova).

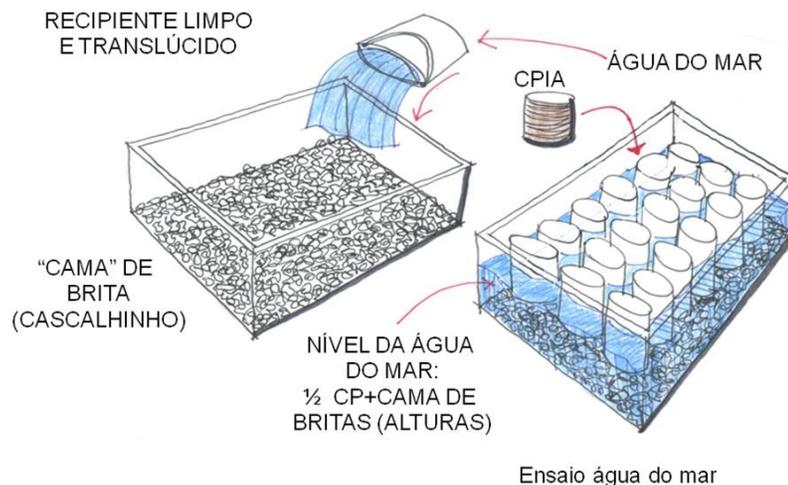


Figura 3. Ensaio com a água do mar (desenho esquemático).

Após todos esses processos foram realizados furos em cada corpo de prova. Foram feitos na extremidade que esteve em contato com a água do mar e foram perfurados do maior para o menor furo e com profundidades de 1, 2, e 3 centímetros nesta ordem. Para o furo foi utilizado furadeira de impacto, régua para aferição, furadeira em bancada para que houvesse maior precisão e brocas

para concreto de bitola 14, 10, 8 mm. A cada furo todo material foi recolhido (pó) e acondicionado em sacos individuais, nomeados e numerados para identificação quando ensaiados no laboratório químico (ver Figura 4).



Figura 4. Ensaios de perfuração com furadeira fixa.

2.3 Realização do método de Mohr

A segunda parte da pesquisa foi realizado no laboratório químico da Universidade Católica de Pernambuco, com a orientação do professor Sérgio Paiva. O intuito dos ensaios foi de utilizar o método de Mohr, com titulação por nitrato de prata, para que fosse determinada a quantidade de íons cloreto penetrados nas diferentes profundidades perfuradas nos corpos de prova de 1, 2, 3 cm e coletada nas 45 amostras.

No Tabela 3 observa-se que foram catalogadas 45 amostras, 36 dos corpos de prova parcialmente imersos e 9 dos não imersos, seguiram-se os ensaios.

Tabela 3. Corpos de prova 45 amostras

Tipo	Traço	CPs (10X10)	Furo (3 p/CP)
Pobre	1:3	4	12
Médio	1:2	4	12
Rico	1:1	4	12
Sem Imersão	-	03 (10x20)	9
Total de Amostras			45

Foram colocados no bécker parte das 45 amostras, e pesado 0,5 gramas. Após isso colocou-se para cada amostra o pó da perfuração de um corpo de prova, partes A e B (as duas partes de 10 cm x 10 cm) em três erlenmeyers, e, portanto, numerando-se de 1 a 18 e adicionou-se, com uma pipeta 50ml de água destilada (sem sais), agitando-se para misturar.

Depois esse “pó” pesado foi diluído com água destilada em balão volumétrico de 250 ml. Esperou-se por no mínimo de 24hs, para descansar e posteriormente diluiu-se o conteúdo dos balões volumétricos com água destilada até 250 ml, agitando-os individualmente para homogeneizar.

Destes 250 ml, foram retirados e colocados em elemayers três amostras com 10 ml cada. Em cada destas amostras se colocou 1ml de cromato de potássio (K_2CrO_4 , 5%, com um grau de pureza de 99%) que funcionou como indicador e deixando uma coloração amarela. Após isto, cada amostra recebeu gotas de nitrato de prata ($AgNO_3$ – 0,0141 mol/l, com uma pureza de 97,8%) para titular

(coloração vermelho telha), ou seja, observar a quantidade de nitrato de prata necessária para se associar aos íons de cloretos livres na massa de cimento de cada amostra.

Os resultados são colocados individualmente por traço em planilhas e, se calcula a quantidade de íons de cloreto em cada amostra que reagiu com a massa de cimento de acordo com o traço (pobre, médio e rico) e a profundidade de penetração (1, 2 e 3 centímetros). Com a Fig. 5, entende-se melhor o processo.

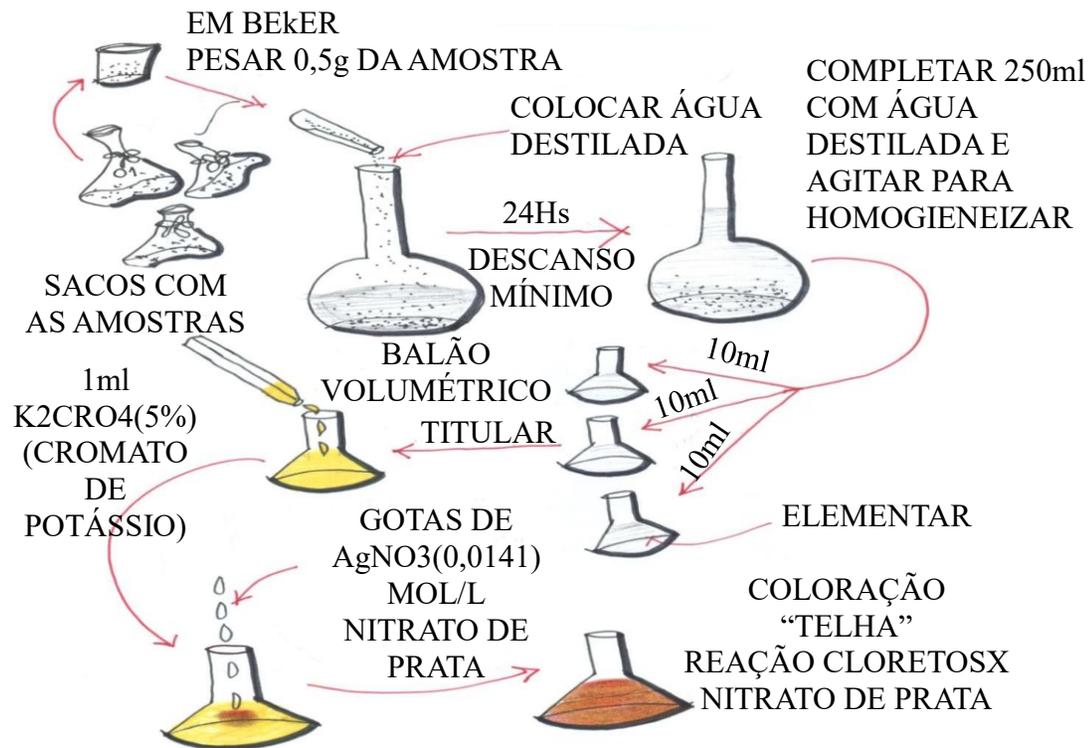


Figura 5. Esquema dos ensaios realizados no laboratório de química

3. RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados e as análises dos ensaios desenvolvidos pela titulação com nitrato de prata utilizando o método de Mohr.

Em primeiro lugar será apresentada a Tabela 4, 5 e 6 com os pesos, as identificações das amostras, os volumes consumidos de AgNO₃ (nitrato de prata), por amostra (pobre, médio e rico), a relação entre os três, a relação entre o pobre com o rico e a relação do médio com o rico.

As tabelas 6, 7 e 8 mostram os resultados obtidos desde as amostras do pó retirados pela profundidade de perfuração de cada corpo de prova, de cada traço, resultados laboratoriais de titulação por nitrato de prata, e percentuais de cloretos em relação à massa de cimento.

Como os pesos das amostras tinham variações, foram feitas três titulações com o nitrato de prata consumido, e, para que a margem de erro fosse menor, foi feita a média aritmética destas.

Neles percebe-se que a profundidade de um centímetro perfurado em amostra, para todos os traços, tem a maior concentração de cloretos, por estar mais perto das extremidades.

Tabela 4. Resultados dos ensaios realizados no laboratório químico – Amostras de corpos de prova de traço pobre com imersão na água do mar.

CP	TIPO DE TRAÇO	PROF. (cm)	AMOSTRA N°	PESO (g)	AgNO ₃ (ml) (Consumido)				CLORETO (%Cl ⁻) relação massa cimento
					1 ^a Tit.	2 ^a Tit.	3 ^a Tit.	Média	
TRAÇO POBRE - TP									
1	CP 1A	1	1	0,52	0,50	0,50	0,50	0,50	0,0234
		2	2	0,52	0,50	0,50	0,50	0,50	0,0234
		3	3	0,50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,0292
2	CP 1B	1	4	0,51	0,60	0,60	0,70	0,63	0,0311
		2	5	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,0234
		3	6	0,52	0,70	0,50	0,50	0,57	0,0273
3	CP IIC	1	7	0,50	0,50	0,40	0,60	0,50	0,0234
		2	8	0,50	0,50	0,40	0,40	0,43	0,0195
		3	9	0,51	0,30	0,40	0,30	0,33	0,0136
4	CP IID	1	10	0,54	0,70	0,60	0,60	0,63	0,0311
		2	11	0,52	0,40	0,40	0,50	0,43	0,0195
		3	12	0,50	0,30	0,40	0,30	0,33	0,0136

*CP IA, CP IB, CP IIC, CP IID – Identificação dos Corpos de Prova do TP - Traço Pobre.

Tabela 5. Resultados dos ensaios realizados no laboratório químico – Amostras de corpos de prova traço médio com imersão na água do mar

CP	TIPO DE TRAÇO	PROF. (cm)	AMOSTRA N°	PESO (g)	AgNO ₃ (ml) (Consumido)				CLORETO (%Cl ⁻) relação massa cimento
					1 ^a Tit.	2 ^a Tit.	3 ^a Tit.	Média	
TRAÇO MÉDIO - TM									
5	CP IIIE	1	13	0,55	0,70	0,70	0,80	0,73	0,0272
		2	14	0,54	0,60	0,50	0,40	0,50	0,0172
		3	15	0,55	0,50	0,60	0,50	0,53	0,0186
6	CP IIIF	1	16	0,52	0,50	0,60	0,50	0,53	0,0186
		2	17	0,56	0,60	0,40	0,50	0,50	0,0172
		3	18	0,56	0,40	0,40	0,30	0,37	0,0114
7	CP IVG	1	19	0,56	0,80	0,60	0,80	0,73	0,0272
		2	20	0,58	0,60	0,60	0,60	0,60	0,0214
		3	21	0,57	0,40	0,50	0,60	0,50	0,0172
8	CP IVH	1	22	0,63	0,80	0,70	0,80	0,77	0,0286
		2	23	0,55	0,50	0,50	0,50	0,50	0,0172
		3	24	0,56	0,30	0,40	0,40	0,37	0,0114

*CP IIIE, CP IIIF, CP IVG, CP IVH – Identificação dos Corpos de Prova do TM - Traço Médio.

Tabela 6. Resultados dos ensaios realizados no laboratório químico – Amostras de corpos de prova traço rico com imersão na água do mar.

CP	TIPO DE TRAÇO	PROF. (cm)	AMOSTRA N°	PESO (g)	AgNO ₃ (ml) (Consumido)				CLORETO (%Cl ⁻) relação massa cimento
					1ª Tit.	2ª Tit.	3ª Tit.	Média	
TRAÇO MÉDIO - TM									
9	CP VI	1	25	0,53	0,80	0,70	0,50	0,67	0,0161
		2	26	0,52	0,30	0,40	0,40	0,37	0,0076
		3	27	0,55	0,30	0,40	0,40	0,37	0,0076
10	CP VJ	1	28	0,52	0,70	0,60	0,70	0,67	0,0161
		2	29	0,50	0,50	0,60	0,60	0,57	0,0132
		3	30	0,52	0,50	0,60	0,60	0,57	0,0132
11	CP VIL	1	31	0,50	0,70	0,70	0,50	0,63	0,0151
		2	32	0,56	0,60	0,50	0,50	0,53	0,0123
		3	33	0,53	0,60	0,60	0,70	0,63	0,0151
12	CP VIM	1	34	0,52	0,70	0,50	0,50	0,57	0,0132
		2	35	0,54	0,40	0,50	0,50	0,47	0,0104
		3	36	0,53	0,30	0,30	0,40	0,33	0,0066

*CP VI, CP VJ, CP VIL, CP VIM – Identificação dos Corpos de Prova do TM - Traço Médio.

Tabela 7. Resultados dos ensaios realizados no laboratório químico – Amostras de corpos de prova traço rico, médio e pobre sem imersão na água do mar.

CP	TIPO DE TRAÇO	PROF. (cm)	AMOSTRA N°	PESO (g)	AgNO ₃ (ml) (Consumido)				(%Cl ⁻) relação massa cimento	(%Cl ⁻) relação massa cimento
					1ª Tit.	2ª Tit.	3ª Tit.	Média		
TRAÇO POBRE C P S/IMER										
13	CP VII	1	37	0,5	0,4	0,3	0,4	0,37	0,0033	0,0156
		2	38	0,5	0,3	0,3	0,4	0,33	0,0029	0,0136
		3	39	0,54	0,4	0,3	0,4	0,37	0,0033	0,0156
TRAÇO MÉDIO C P S/IMER										
14	CP VIII	1	40	0,55	0,4	0,5	0,3	0,4	0,0037	0,0129
		2	41	0,54	0,4	0,4	0,5	0,43	0,0042	0,0143
		3	42	0,56	0,4	0,5	0,4	0,43	0,0042	0,0143
TRAÇO RICO C P S/IMER										
15	CP IX	1	43	0,53	0,3	0,3	0,4	0,33	0,0029	0,0066
		2	44	0,53	0,4	0,4	0,4	0,4	0,0037	0,0085
		3	45	0,54	0,4	0,4	0,4	0,4	0,0037	0,0085
ÁGUA DO MAR ATLÂNTICO SUL										
16	AMOS-TRA		46						-0,0012	

Após a aplicação de fórmula foi encontrado o percentual de cloretos em relação à massa de concreto. A massa de cimento é o indicador da análise da penetração dos cloretos, foi encontrada a partir do consumo de cimento utilizado para as amostras onde o traço pobre consome 503 kg/m³ de concreto e o traço médio 685 kg/m³ e uma massa específica do concreto de 2.350 kg/m³, possibilitou a obtenção do percentual de cloreto na massa de cimento. Com todos os percentuais encontrados, foi tirada uma média aritmética dando origem ao Tabela 8.

Tabela 8. Relação massa concreto (%Cl⁻) nos corpos de provas

Traço	Profundidade					
	Com imersão			Sem imersão		
	1 cm	2 cm	3 cm	1 cm	2 cm	3 cm
Pobre	0,0273	0,0214	0,0209	0,0156	0,0136	0,0156
Médio	0,0254	0,0182	0,0147	0,0129	0,0143	0,0143
Rico	0,0151	0,0109	0,0106	0,0066	0,0085	0,0085

De acordo com os resultados obtidos em laboratórios, através do experimento supracitados, destacamos as seguintes considerações que: A técnica utilizada se trata de uma técnica qualitativa, essa técnica tem baixo custo e de maneira rápida nos fornece qualitativamente se existem cloretos livres, dando subsídio para aplicação de outras técnicas mais refinadas quantitativamente. Por outro lado, é importante destacar, que existem limitações para a técnica, um caso clássico, quando a estrutura está carbonatada, sendo seus resultados confundidos.

4. CONCLUSÕES

Os resultados nos mostram que a penetração de cloreto é menor em corpos de prova de concreto parcialmente imersos em água do mar seguindo esta ordem:

- Traço rico
- Traço médio
- Traço pobre

Em todos os traços que foram parcialmente imersos, a penetração de cloretos foi maior com profundidade de 1 cm. Os corpos de prova não imersos em água do mar apresentaram presença, em média menor que 50% de cloretos do que os parcialmente imersos.

Pode-se concluir que as estruturas de concreto que estão parcialmente imersas em água do mar necessitam de um cuidado especial em seu projeto (traço, recobrimento, pintura protetora) bem como manutenções periódicas para sua vida útil e possíveis colapsos.

Diante do levantamento obteve-se resultados da profundidade e da penetração de cloretos para traços: rico, médio e pobre o que deve ajudar os profissionais a traçar parâmetros para que se possa aumentar a vida útil de construções em contato com a agressividade ambiental. É importante o cuidado com os materiais a serem usados, direcionando o tipo de cimento, resistência para o concreto que desenvolvam atividades em contato parcial com a água do mar, na região metropolitana do Recife ou em outra cidade com atmosfera marinha.

A partir dos ensaios realizados, pode-se concluir que quanto maior é a resistência do concreto, maior será a sua resistência à penetração de íons cloretos mantidos os mesmos materiais do traço. Para tanto, sabe-se que a depender dos compostos químicos existentes nos cimentos e suas respectivas fases, terão uma influência significativa na capacidade de se combinar quimicamente (ligar-se a cloretos) com os cloretos. As fases aluminatos (C₃A e C₄AF), são as fases que se combinam quimicamente com os cloretos formando os cloroaluminatos, por outro lado, as fases principais responsável pela geração do gel C-S-H, são C₃S e C₂S, e com consequências em suas

hidratações geram resistências a compressão. Por tanto, há uma maior influência sobre compostos do cimento em sua capacidade de se combinar quimicamente com os cloretos do que a resistência a compressão.

Esse resultado já era esperado porque maior é a resistência do concreto menor é a quantidade de poros, aumentando a dificuldade de penetração de íons cloretos. Este estudo de caso teve como objetivo comparar amostras de concreto com diferentes teores de cimento em sua composição em relação à penetração de cloretos quando imersos ou não em água do mar.

Com o resultado, foi concluído que os concretos com maiores resistências (fator água cimento menor) tem uma resistência maior a penetração dos íons cloretos, tendo em vista que este resultado é esperado, pois o concreto com maior resistência tende a que os poros fiquem bem reduzidos, dificultando assim, a entrada dos íons cloretos nesse tipo de estrutura. É importante destacar que tais concretos estudados nessa pesquisa, podem ser utilizados em reforços estruturais.

5. REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009), *NBR 7211/2009: Agregados para concreto - Especificação*. Rio de Janeiro: ABNT.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014), *NBR 6118/2014: Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (1991), *NBR 11578/91: cimento Portland composto - Especificação*. Rio de Janeiro: ABNT.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012), *NBR-9779/2012: Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade*. Rio de Janeiro: ABNT.
- Andrade, C., Sagrera, J. L., Sanjuán, M. A. (1999), “*Several years study on chloride ion penetration into concrete exposed to Atlantic Ocean water*”, In: 2nd International Rilem Workshop on Testing and Modelling the Chloride Ingress into Concrete, Eds. C. Andrade, J. Kropp, Paris, CD.
- Andrade, J. J. O. (2001), *Contribuição à previsão da vida útil das estruturas de concreto armado atacadas pela corrosão de armaduras: Iniciação por cloretos*. Tese de doutorado. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 249 p.
- Cascudo, O., Carasek, H. (2014), *Durabilidade do concreto: bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente*. 1. ed. São Paulo, SP: IBRACON.
- Google Maps (2017). Disponível em: <<http://embrasil.s3.amazonaws.com/upload/ciudad/81C-37.jpg>>. Acesso em: 11/07/2017
- Helene, P. R. L. (1986), *Corrosão das Armaduras para Concreto Armado*. São Paulo, IPT, PINI.
- Helene, P., Medeiros, M. (2008), *Concreto armado versus ambiente marítimo: por que proteger e o que considerar para especificar?*. São Paulo, Concreto e Construções, IBRACON, v.35, p.23-8.
- International Organization for Standardization (2013), *ISO TC 71/SC 1 - Testing methods for Concrete*.
- International Organization for Standardization (2013), *ISO/WD 1920-11 - Testing of Concrete - part 11: Determination of the Chloride Resistance of Concrete, Unidirectional Diffusion*.
- Lima, M. G., Morelli, F. (2005), *Mapa brasileiro de "chuva dirigida" - Algumas considerações*. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 6.
- Mehta, P. K., Monteiro, P. J. M. (2014), *Concreto: microestrutura, propriedades e materiais*. 2. ed. São Paulo, SP: IBRACON. pp: 751.
- Meira, G. R. (2009), *Comportamento do aerosol marinho e sua relação com estruturas de concreto em zona de atmosfera marinha*. In: Jornadas de Engenharia - Tecnologia do Concreto e Patologia

- das Estruturas, 2009, Fortaleza. Anais das Jornadas de Engenharia - Tecnologia do Concreto e Patologia das Estruturas. Fortaleza: UVA / UNIFOR. v. 1.
- Mota, A. C. M. (2011), *Avaliação da presença de cloretos livres em argamassa através do método colorimétrico de aspersão da solução de nitrato de prata*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco.
- Medeiros, M. H. F., Real, L. V., Richter, K., Souza, W. B., Klein, N. S. (2014), *Ensaio de migração de cloretos em estado estacionário para avaliação de sistemas de proteção de superfície*. REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 8, p. 54-63. <https://doi.org/10.5216/reec.v8i2.27155>
- Medeiros, M. H. F., Hoppe Filho, J., Borba, A. Y., Helene, P. (2012), *Ensaio de migração de cloretos para concreto: influência do número de fatias extraídas*. REM. Revista Escola de Minas (Impresso), v. 65, p. 475-481. <http://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672012000400007>
- Medeiros, M. H. F., Pereira, E., Helene, P. (2012), *Tratamento de superfície com silicato de sódio para concreto: penetração de cloretos e absorção de água*. Revista ALCONPAT, v. 2, n. 3, p. 156-161. <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v2i3.34>
- Meck, E., Sirivivatnanon V. (2003), *Field indicator of chloride penetration depth*. Cement and Concrete Research, v. 33, n. 8, p.1113-1117. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00012-7](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00012-7)
- Otsuki, N., Nagataki, S., Nakashita, K. (1992), *Evaluation of AgNO₃ Solution Spray Method for Measurement of Chloride Penetration into Hardened Cementitious Matrix Materials*. ACI Materials Journal, v. 8, n. 6, p. 587-592, 1992. Technical paper.
- Pintan, N. M., Berenguer, R. A., Da Costa E Silva, A. J., Lins, C. M. M. S., Monteiro, E. C. B. (2015), *Pathological Manifestations and The Study of Corrosion Present on Bridges on the City of Recife*. The Electronic Journal of Geotechnical Engineering, v. 20, p. 11893-11907.
- Verás Ribeiro, D., Sales, A., Caldas de Sousa, C. A., do Couto Rosa Almeida, F., Teixeira Cunha, M. P., Zita Lourenço, M., Helene, P. (2014), *Corrosão em estruturas de concreto armado: teoria, controle e métodos de análise*. Rio de Janeiro: Campus.