

Verificación de penetración de cloruros en probetas parcialmente sumergidas en agua de mar en 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 Contacto: templarios_pm@hotmail.com

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

Recepción: 11/08/2017 | Aceptación: 17/03/2018 | Publicación: 30/04/2018

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.

Citar como: R. Berenguer, A. Passos, E. C. B. Monteiro, P. Helene, Â. Just, R. Oliveira, M. Medeiros, A. Carneiro (2018), "Verificación de penetración de cloruros en probetas parcialmente sumergidas en agua de mar en 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 Materiales, Universidad Federal de Pernambuco, Recife-PE, Brasil.

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

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

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

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

Información Legal

Revista ALCONPAT es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A. C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Página Web: www.alconpat.org

Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor.

Queda totalmente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la ALCONPAT Internacional A.C.

Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el primer número del año 2019 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del tercer número del año 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.

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

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 cloruro; método de Mohr; água do mar.

1. INTRODUCCIÓN

Desde el inicio del siglo XX ya se tiene registros de uso del concreto armado en Brasil, pero el concreto en las construcciones tomó fuerza a partir de los años 50. Tal acontecimiento se dio por herencia de la revolución industrial que modificó técnicas y trajo nuevos materiales.

De acuerdo con Mehta y Monteiro (2014) el concreto solo es superado por el agua como material más consumido en el planeta. Por su resistencia y versatilidad formal el concreto además de desarrollar un papel importante en las construcciones civiles, ha sido largamente utilizado por los arquitectos en obras, por la posibilidad de formatos, valorización estética de las estructuras y usos pudiendo ser vaciado dando margen a la creatividad, principalmente cuando es usado en obra limpia, sin revestimiento.

Con el pasar del tiempo las construcciones empezaron a presentar diversas manifestaciones patológicas que degradan y pueden causar hasta su colapso. Por eso hay necesidad de estudios y las pesquisas sobre ese tema.

Entre las principales manifestaciones patológicas que atacan al concreto armado están la acción del calor o del frío, clima y humedad, reacción álcalis /agregado, agresividad química, corrosión por carbonatación y/o por cloruros (Casado et. al., 2014).

La penetración de iones de cloruros afecta las construcciones en locales costeros o cercanos al mar que poseen gran concentración de iones cloruros libres. Estos son considerados como la mayor causa de corrosión prematura de las estructuras. (Ribeiro y Medeiros, 2014)

Brasil posee varios equipamientos y construcciones que están en contacto directo o semidirecto con el mar. Recife, capital de Pernambuco, es una de las ciudades que más tiene equipamientos urbanos en contacto con agua de mar. Los edificios, puentes, fondeaderos, pasarelas, en fin, proyectos que determinan estructuras en concreto en ambiente marítimo: ambientes de zona sumergida, parcialmente sumergida, zona de marea, zona de salpicadura y zona de niebla. Las aguas del mar contienen una elevada cantidad de iones de cloruros y esta exposición hace más vulnerable estas estructuras de concreto. (Pitan et. al., 2015)

Por lo tanto, se hace necesario la pesquisa y la construcción de parámetros y relaciones que permitan tomar decisiones sustentables y económicas de los proyectos y el aumento de la vida útil de las estructuras de concreto.

Esta pesquisa tiene como objetivo investigar, a través de ensayos químicos la penetración de cloruros en ejemplares de concreto de diferentes (proporciones dos materiales), caracterizados como: pobre, medio e rico; parcialmente sumergidos em agua do mar. Para eso, será utilizada la ISO TC 71/SC 1 como referencia a los procedimientos de penetración de cloruros y será utilizado el método de Mohr como referencia de los ensayos en laboratorio químico.

1.1 Ambiente marino

Según la NBR 6118:2014 el ambiente marino es reconocido por lo agresivo a las estructuras de concreto, donde está insertado en la clase de agresividad IV. La influencia de este en la durabilidad de las estructuras de concreto depende del microclima en el cual se encuentra (Cascardo et. al., 2014). Los agentes agresivos presentes en el ambiente marino provocan tanto la corrosión de las armaduras como la corrosión del concreto (matriz de cemento) (Lima y Morelli, 2004).

Según Andrade (2001) y Medeiros (2012) la penetración de cloruros del concreto puede ocurrir de modos diferentes, donde en primer lugar se trata la incorporación de cloruro a la masa de concreto, lo que viene tornando más improbable debido a las limitaciones impuestas por las normas vigentes. Como ejemplos de los otros mecanismos son los más usuales que son la absorción capilar y la difusión, que dependen de factores externos.

Según Daniel (2014), la absorción capilar es un mecanismo donde los cloruros presentes en un medio líquido penetran al concreto a partir del flujo de este líquido, por el efecto de la tensión superficial actuante en los poros capilares. Según Daniel (2014) y Meira (2009), este mecanismo depende del diámetro de los poros de la tensión superficial del líquido, de su densidad y de su viscosidad.

La difusión es un mecanismo que ocurre debido a gradientes de concentración de cloruros. Los cloruros en regiones de mayores concentraciones se mueven para regiones de concentración más baja (Meira, 2009).

En 2014 la NBR 6118, destaca un capítulo sobre el tema, donde se determina las clases de agresividad ambiental para construcciones de concreto en áreas urbanas o rurales, identificándolas como: débil, moderada, fuerte o muy fuerte.

Tal regulación ya informaría a los cuidados tanto del tipo de concreto, así como la especificación del recubrimiento de la armadura. El espesor nominal por adoptar de acuerdo con el componente o elemento de concreto armado o post tensado. La NBR 6118:2014 ya recomienda que el recubrimiento debe ser respetado en obras inclusive donde hay poco o ningún control, una vez que este es igual al recubrimiento mínimo más un factor de tolerancia.

La mayoría de las construcciones en contacto directo con el ambiente marino adquieren las manifestaciones patológicas en poco tiempo de construidas, con gran descomposición del concreto y elevada corrosión de las armaduras (Daniel, 2014). El agua de mar posee elevada cantidad de

iones de cloruros. La clasificación entre ambientes agresivos y no agresivos es muy relativa y se refiere principalmente, a las concentraciones de H_2S , SO_2 , NO_x , SO_4 , Cl^- (Helene, 1986).

Para Medeiros (2014), esos óxidos son extremadamente agresivos y contribuyen, para acelerar el proceso de corrosión de las armaduras embebidas en concreto, aun cuando en pequeñas proporciones. Como referencia, se puede ver que la velocidad de corrosión en atmósfera marina puede ser en el orden de 30 a 40 veces superior al que ocurre en la atmósfera rural pura (Ribeiro y Helene, 2014).

En ciudades que están sujetas a esa exposición salina, las construcciones de concreto o concreto armado aparente, tanto en contacto con agua de mar o no; es típico de los mares siempre causar manifestaciones patológicas y desgastes mecánicos que exigen permanente mantenimiento (Casudo et. al., 2014).

Algunos proyectos determinan estructuras en concreto en ambiente marítimo: ambientes de zona sumergida y parcialmente sumergida en agua do mar, zona de marea alta y baja, zona de atmósfera, zona de salpique y zona de niebla (Casudo et. al., 2014).

El agua de mar es uno de los elementos de la naturaleza que más causa daños a estructuras de concreto. En su composición es posible encontrar elementos componentes de ciertos componentes químicos.

Según Lima y Morelli (2004), los oceanógrafos identifican los elementos distribuidos en las aguas de los océanos, bien como sus diversos estados y componentes químicos. Algunos componentes son estables, como los que contienen sodio y potasio; y otros son relativamente bien estables, como los que contienen silicio y magnesio. El tamaño de la concentración puede ser determinada en 3 grupos:

- Elementos Inorgánicos Mayores - Cl, Na, S, Mg, Ca, K (son aquellos que se presentan en cantidades mayores de 100 partes por millón (ppm)), ó 100 mg por litro (mg/L) equivalente a 10% en peso.
- Elementos Menores - Br, C, Sr, B, Si, F (son aquellos que se presentan en cantidades mayores que 1 mg y menos que 100 mg/L, es decir de 0,1% a 10%)
- Elementos em menor concentración - N, Li, Rb, P, I, Fe, Zn, Mb (son aquellos que se presentan en cantidades menores que 0,1%).

La composición de agua de mar, que puede variar de acuerdo con la temperatura, la latitud, profundidad y aproximación al continente, ha sido pesquisada a lo largo de los tiempos. En el siglo 19, Dittmar en 1870, posterior al análisis de millares de muestras de agua de todos los mares, constató que sabiendo que, a pesar de la cantidad de variables de sales disueltos en total, las proporciones de los elementos principales son constantes. La salinidad varia de 3,3% a 3,7% en océano abierto; siendo el promedio general de salinidad para todos los mares de 3,5%.

1.2 La ciudad de Recife y el contacto con el mar

Recife la capital Pernambucana es conocida como la Venecia Brasileña debido a sus construcciones junto a los ríos y el mar, puentes que colocan su paisaje urbano, siendo una de las ciudades que más posee equipamientos urbanos en contacto con agua de mar. La Fig. 1 se tiene una vista panorámica del municipio de Recife.



Figura 1. a) Vista panorámica de Recife /Pe. Fuente: Google Maps (2017) Disponible en: <<http://embrasil.s3.amazonaws.com/upload/ciudad/81C-37.jpg>>. Acceso el: 11/07/2017.
b) Vista del mapa de Brasil, destacando Recife, Pernambuco.

Recife por ser una ciudad litoral de clima caliente humedad alta y predominancia de los vientos que vienen en dirección del océano atlántico sufre, en sus estructuras de concreto agresiones de agentes de las manifestaciones patológicas de diversos tipos. De acuerdo con la NBR 6118:2014, Lima, Morelli (2004), Daniel y Medeiros (2014) clasificaron y definieron cuatro zonas de agresividad que se ubican bien a lo que sucede en las estructuras de concreto existentes en la ciudad. Tales regiones son:

- Zona de atmósfera marina: en esta región la estructura recibe, a pesar de no estar en contacto con el agua de mar, una cantidad razonable de sales, principalmente el cloruro, capaz de producir depósitos salinos en la superficie en forma de partículas sólidas ó como gotas de solución salina. La cantidad de sales presente va disminuyendo en función de la distancia del mar, sufriendo la influencia de la velocidad y dirección de los vientos predominantes. El mecanismo principal de degradación presente en esta zona es la corrosión de las armaduras por la acción dos iones cloruro;
- Zona de salpique: es la región donde ocurre la acción directa del mar, debido a las ondas y los salpiques. Los daños más significativos son producidos por corrosión de las armaduras por iones cloruro y por la erosión, debido a las ondas.
- Zona de variación de mareas: esta región está limitada por los niveles máximos y mínimos alcanzados por las mareas y debido a eso el concreto puede encontrarse casi siempre saturado, dependiendo de las condiciones climatológicas y con una creciente concentración de sales. La degradación ocurre debido a la acción de las sales agresivas (ataque químico), corrosión de armaduras (debido a la presencia de iones cloruros), acción de las ondas y otras sustancias en suspensión (abrasión) y microorganismos.
- Zona sumergida: el concreto en esta región se encuentra permanentemente sumergido. La degradación ocurre por la acción de sales agresivas (iones sulfato y magnesio) y por la acción de microorganismos que, en casos extremos, puede generar la corrosión biológica de las armaduras.

1.3 Método de Mohr

La necesidad de identificar como ocurre la penetración de cloruros en estructuras de concreto armado se hace necesaria pues es ella quien posteriormente provoca la corrosión. Varios métodos han sido desarrollados como tal entre ellos el método colorimétrico de riego de nitrato de plata, que es un ensayo cualitativo de identificación de cloruros libres en concretos es el método de Mohr usado en laboratorio que utiliza la titulación también con nitrato de plata.

De acuerdo con Mota (2011), el método colorimétrico de riego por nitrato de plata usa la metodología basada en la aplicación de un indicador químico capaz de alterar la coloración del concreto en presencia de cloruros. Este presenta variables, según estudios de los investigadores Otsuki, Andrade y Meck, como tipo de cemento, relación agua / cemento y tipo de material utilizado, como se muestra en la Tabla 1.

Ese método fue desarrollado en 1970 por el Dr. Mário Collepardi con intención de verificar en muestras de concreto la existencia o no de cloruros y así poder determinar el frente de penetración de cloruros en estructuras expuestas a ambientes marinos. Esta técnica contribuye también para la determinación del proceso de fijación de los cloruros libres en la matriz cementícea (MOTA,2011). Para la realización del método de MOHR se utiliza en las muestras de concreto primero la solución de K_2CrO_4 a 5% (cromato de potasio), que funciona como indicador, pigmentando de amarillo y posteriormente se gotea con medición la solución de nitrato de plata ($AgNO_3$) 0,0141M hasta que la muestra líquida obtenga la coloración “anaranjada” para hacer la titulación y entender la combinación de los iones libres de la muestra de concreto.

Tabla 1. Resumen de algunas variables involucradas en las pesquisas del método colorimétrico de riego de nitrato de plata.

Tipo de Cemento	Tipos de CP's	a/c	Concentración de Cloruros Limite para cambio de color	Año	País	Investigador
Cemento Portland Común	Pasta	0,4	0,15%	1992	Japón	Otsuki et.
	Mortero	0,5 e				
	Concreto	0,6				
Cemento Portland Común y Cemento Portland con adición	Concreto	0,4 e 0,7	1,13 a 1,4%	1999	España	Andrade et.
Cemento Portland Común y Cemento Portland con adición	Concreto	-	0,90%	2003	Australia	Meck

Fuente: Mota (2011).

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

Según esta ISO las estructuras de concreto armado expuestas al ingreso de cloruros, sea de aguas marinas o de otras fuentes, deben atender a criterios de durabilidad para los cuales fueron proyectadas, por al menos todo el tiempo de vida útil del proyecto. La posibilidad de ocurrencia de corrosión en las armaduras aumenta significativamente en la medida que la concentración de cloruro paulatinamente se acumula en el interior de esas estructuras. Por esa razón el grado de difusión o penetrabilidad del concreto representan importantes propiedades a ser evaluadas, al paso en que estas especificaciones técnicas establecen un método de ensayo que puede ser aplicado a muestras preparadas para la evaluación de las propiedades potenciales de resistencia al cloruro que una dada mezcla de concreto pueda presentar.

Esas especificaciones técnicas representan un método para determinar los parámetros de penetración unidireccionales del cloruro en estado no continuo en probetas de concreto endurecido prea condicionados.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta pesquisa tiene como finalidad determinar el cuantitativo de penetración de cloruros en probetas de diferentes resistencias, en variadas profundidades.

Para eso, fueron realizados ensayos en Laboratorios de la Universidad Católica de Pernambuco. en el Laboratorio de Materiales fueron confeccionadas las probetas usando ensayos con inmersión parcial en agua de mar y como referencia de los procesos las ISO TC 71/SC 1 de 26/07/2010, ISO/WD 1920-1, ISO TC 71/SC 1/WG SII NBR-9779. Seguidamente en el Laboratorio de Química fue realizado el método de Mohr.

Para el cálculo del porcentaje de cloruro absorbido por las muestras, fue utilizada la ecuación 1 abajo:

Por tratarse de material considerado “inerte” los agregados, son tomados en cuenta para los cálculos, apenas el peso del cemento. Pues llevando en consideración el hecho de que los componentes químicos presentes en el cemento son los que reaccionan con los cloruros, en especial el C₃A.

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

Donde:

- V1 = volumen de la solución de AgNO₃ consumido para titular la muestra, en ml
- V2 = volumen de la solución de AgNO₃ consumido para titular el blanco, en ml
- m = concentración molar de la solución de AgNO₃
- mm = peso molar de Cl
- V muestra = 0,10 ml
- Factor de dilución = 1000/250 = 4

2.1 Caracterización de los materiales utilizados

- **Cemento:** El utilizado en esta pesquisa fue el CP II-F-32, nombrado según la ABNT de Cemento Portland compuesto con filler (NBR 11578/91).
- **Arena gruesa:** El agregado fino utilizado en esta pesquisa es natural de lecho de río, proveniente de la ciudad de Pombos, Pernambuco. La arena fue ensayada en el laboratorio de materiales siguiendo las normas de caracterización y distribución granulométrica.
- **Piedra:** El agregado grueso utilizado fue una piedra de dimensión 25 mm, gradación 1 de acuerdo con la NBR 7211 (ABNT, 2009).
- **Agua potable:** Fue utilizada el agua proveniente de la red de abastecimiento público de la ciudad de Recife, COMPESA.
- **Agua del mar:** El agua de mar utilizada fue de playa de Boa Viagem, Recife, Pernambuco.

2.2 Vaciados de las probetas

Fueron vaciados nueve probetas cilíndricas (10 x 20 cm) de concreto (Ver Tabla2) para tres resistencias mecánicas diferentes, baja, promedio y alta, siendo tres de cada una. Posterior al desencofrado todas las probetas fueron sometidas a curado húmedo por 14 días. Uno de cada dosis permaneció en curado húmedo hasta los 28 días para poder mantener un patrón sobre todos y evaluar sus resistencias mecánicas.

Las otras seis probetas fueron divididas a la mitad de su altura, rectificando los bordes y permanecieron en ambiente seco por más de 14 días, resultando un total de 12 probetas de 10 x 10

cm. A los 21 días ellos fueron impermeabilizados en su alrededor, dejando solos las tapas originales y rectificadas, como se muestra en la Figura 2. Con 28 días de edad fueron sumergidos en agua potable, quedando hasta los 35 días donde fueron retirados y colocados parcialmente sumergidos en agua de mar, con el tope sobre fina cama de arena por 7 días más, de acuerdo con la Figura 3. A los 42 días se retiró del agua de mar, se dejó secar por 24 horas en ambiente natural e identificó cada una de las probetas: por el tipo de dosis y por la división hecha.

La Tabla 2 muestra una tendencia unitaria con las debidas proporciones de materiales en peso en relación con el peso del cemento de los materiales utilizados. Para tanto fueron mantenidos fijos los asentamientos en 160 ± 20 (mm), con la variación de los materiales secos.

Tabla 2. Dosis del Concreto (unitario)

Tipo	Dosis	Asentamiento	a/c	Cemento	arena	pedra	Resistencia Promedio (MPa)
Pobre	1:3	160 ± 20	0,516	1	1,6	1,40	26,67
Medio	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

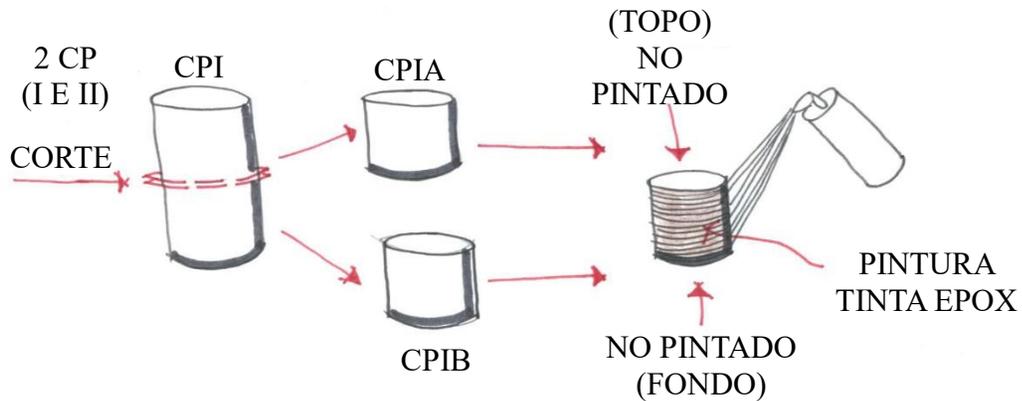


Figura 2. Proceso de cortar nombrar y pintar los CP (probetas).

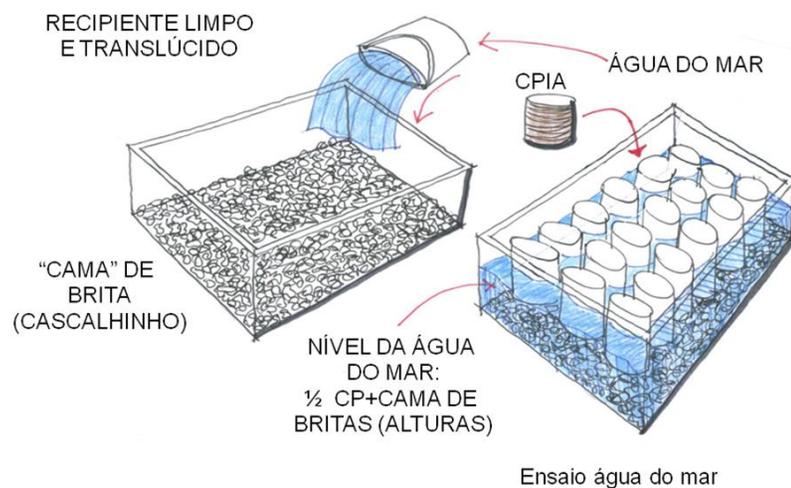


Figura 3. Ensayo con agua de mar (dibujo esquemático).

Posterior a todos esos procesos fueron realizados huecos en cada probeta. Fueron hechos en la extremidad que estuvo en contacto con el agua de mar y fueron perforados de mayor para menor perforación y con profundidades de 1, 2, y 3 centímetros en este orden. Para la perforación fue utilizado el taladro de impacto, regla de medición, taladro de banco para que hubiese mayor precisión y brocas para concreto de 14, 10, 8 mm. A cada perforación todo material fue recogido (polvo) y acondicionado en sacos individuales nombrados y enumerados para su identificación cuando fuesen ensayados en el laboratorio químico (ver Figura 4).



Figura 4. Ensayos de perforación con taladro fijo.

2.3 Realización del método de Mohr

La segunda parte de la pesquisa fue realizada en el laboratorio químico de la Universidad Católica de Pernambuco, con la orientación del profesor Sérgio Paiva. La intención de los ensayos fue utilizar el método de Mohr como titulación por nitrato de plata, para que fuese determinada la cantidad de iones cloruro penetrados en las diferentes profundidades perforadas de las probetas de 1, 2, 3 cm y colectada en las 45 muestras.

En la Tabla 3 se observa que fueron catalogadas 45 muestras, 36 de las probetas parcialmente sumergidas y 9 de las no sumergidas, siguieron en los ensayos.

Tabla 3. Probetas de prueba 45 muestras

Tipo	Proporción	CPs (10X10)	Perforación (3 p/CP)
Pobre	1:3	4	12
Medio	1:2	4	12
Rico	1:1	4	12
Sin Inmersión	-	03 (10x20)	9
Total de Muestras			45

Fueron colocados en el Becker parte de las 45 muestras, y se pesaron 0,5 gramos. Posterior a eso se colocó para cada muestra el polvo de la perforación de una probeta, partes A y B (las dos partes de 10 cm x10 cm) en tres Erlenmeyer, y, por lo tanto, enumerando de 1 a 18 y se acondicionó con una pipeta 50ml de agua destilada (sin sales) agitando para mezclar.

Luego ese “polvo” pesado fue diluido con agua destilada en balón volumétrico de 250 ml. Se espero al menos de 24hs, para descansar y posteriormente se diluyó el contenido de los balones volumétricos con agua destilada hasta 250 ml, agitándolos individualmente para homogeneizar. De estos 250 ml, fueron retirados y colocados en Erlenmeyer tres muestras con 10 ml cada. En cada una de estas muestras se colocó 1ml de cromato de potasio (K_2CrO_4 , 5%, con un grado de pureza de 99%) que funcionó como indicador y dejando una coloración amarilla. Posterior a esto cada muestra recibió gotas de nitrato de plata ($AgNO_3$ – 0,0141 mol/l, con una pureza de 97,8%) para titular (coloración rojo teja), es decir observar la cantidad de nitrato de plata necesaria para asociarse a los iones de cloruros libres en la masa de cemento de cada muestra. Los resultados son colocados individualmente por proporción en planillas y se calcula la cantidad de iones de cloruro en cada muestra que reaccionó con la masa de cemento de acuerdo con la proporción (pobre, medio y rica) y la profundidad de penetración (1, 2 y 3 centímetros). Con la Fig. 5, se entiende mejor el proceso.

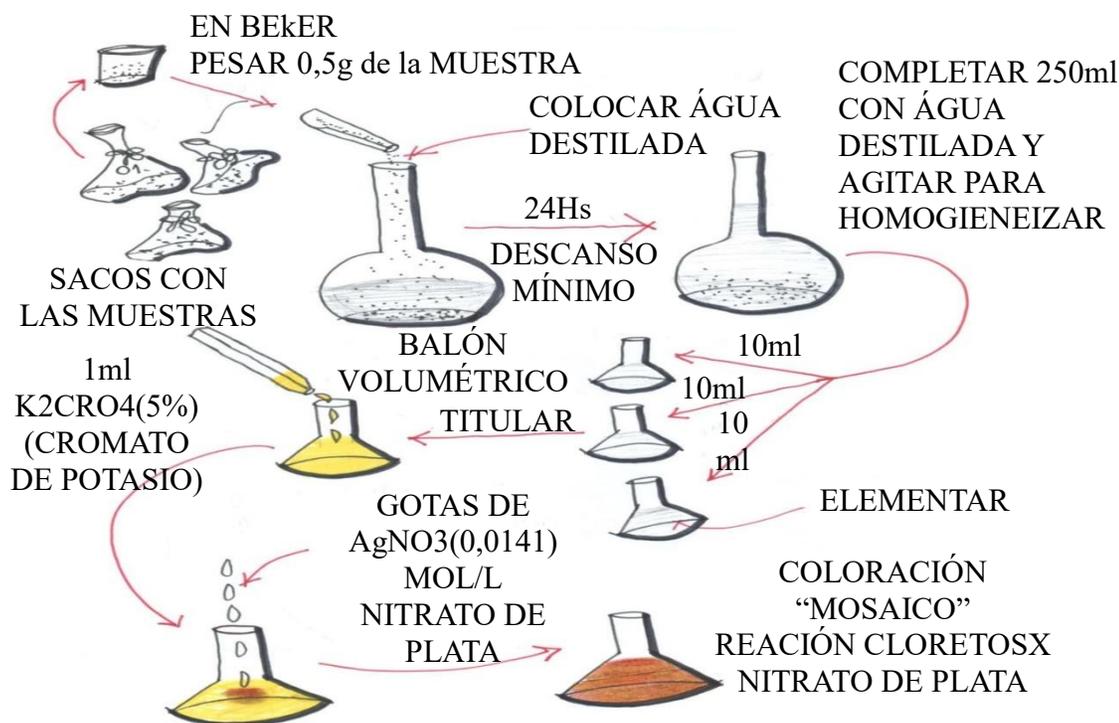


Figura 5. Esquema de los ensayos realizados en laboratorio de química

3. RESULTADOS

En este capítulo serán presentados los resultados y los análisis de los ensayos desarrollados por la titulación con nitrato de plata utilizando el método de Mohr.

En primer lugar, será presentada la Tabla 4, 5 y 6 con los pesos las identificaciones de las muestras los volúmenes consumidos de $AgNO_3$ (nitrato de plata), por muestra (pobre, medio y rico) la relación entre los tres la relación entre el pobre con el rico y la relación del medio con el rico.

Las tablas 6, 7 y 8 muestran los resultados obtenidos desde las muestras de polvo retirados por la profundidad de perforación de cada probeta de cada proporción, resultados de laboratorio de titulación por nitrato de plata y porcentajes de cloruros en relación con la masa de cemento. Como los pesos de las muestras tenían variaciones fueron hechas tres titulaciones con el nitrato de plata consumido y para que el margen de error fuese menor, fue hecho el promedio aritmético de estas.

En ellos se percibe que la profundidad de un centímetro perforado en muestra, para todas las proporciones, tiene la mayor concentración de cloruros, por estar más cerca de las extremidades.

Tabla 4. Resultados de los ensayos realizados en el laboratorio químico – Muestras de probetas de proporción pobre con inmersión en agua de mar.

CP	TIPO DE PROPORCIÓN	PROF. (cm)	MUESTRA N°	PESO (g)	AgNO ₃ (ml) (Consumido)				CLORURO (%Cl ⁻) relación masa cemento
					1ª Tit.	2ª Tit.	3ª Tit.	Promedio	
PROPORCIÓN 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 1A, CP 1B, CP IIC, CP IID – Identificación de las Probetas de TP - Proporción Pobre.

Tabla 5. Resultados de los ensayos realizados en laboratorio químico – Muestras de probetas de proporción media con inmersión en agua de mar

CP	TIPO DE PROPORCIÓN	PROF. (cm)	MUESTRA N°	PESO (g)	AgNO ₃ (ml) (Consumido)				CLORURO (%Cl ⁻) relación masa cemento
					1ª Tit.	2ª Tit.	3ª Tit.	Promedio	
PROPORCIÓN MEDIO - 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 – Identificación de las Probetas de TM - Proporción Medio.

Tabla 6. Resultados de los ensayos realizados en laboratorio químico – Muestras de probetas de proporción rico con inmersión en agua de mar.

CP	TIPO DE PROPORCIÓN	PROF. (cm)	MUESTRA N°	PESO (g)	AgNO ₃ (ml) (Consumido)				CLORURO (%Cl ⁻) relación masa cemento
					1ª Tit.	2ª Tit.	3ª Tit.	Promedio	
PROPORCIÓN MEDIO - 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 – Identificación de Probetas de TM - Proporción Medio.

Tabla 7. Resultados de los ensayos realizados en laboratorio químico – Muestras de probetas de proporción rico, medio y pobre sin inmersión en agua de mar.

CP	TIPO DE PROPORCIÓN	PROF. (cm)	MUESTRA N°	PESO (g)	AgNO ₃ (ml) (Consumido)				(%Cl ⁻) relación masa cemento	(%Cl ⁻) relación masa cemento
					1ª Tit.	2ª Tit.	3ª Tit.	Promedio		
PROPORCIÓN 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
PROPORCIÓN MEDIO 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
PROPORCIÓN 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
AGUA De MAR ATLÁNTICO SUL										
16	AMOS-TRA		46						-0,0012	

Posterior a la aplicación de fórmula fue encontrado el porcentaje de cloruros en relación con peso de concreto. La masa de cemento es el indicador del análisis de la penetración de los cloruros, fue encontrada a partir del consumo de cemento utilizado para las muestras donde la proporción pobre

consume 503 kg/m³ de concreto y la proporción medio 685 kg/m³ es un peso específico de concreto de 2.350 kg/m³, permitió la obtención del porcentaje de cloruro en masa de cemento. Con todos los porcentajes encontrados, fue calculado un promedio aritmético dando origen a la Tabla 8.

Tabla 8. Relación peso concreto (%Cl) en probetas

Proporción	Profundidad					
	Con inmersión			Sin inmersión		
	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
Medio	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 acuerdo con los resultados obtenidos en laboratorios, a través del experimento citados, destacamos las siguientes consideraciones que: La técnica utilizada se trata de una técnica cualitativa, esta técnica tiene bajo costo y de manera rápida nos proporciona cualitativamente si existen cloruros libres, dando subsidio para aplicación de otras técnicas más refinadas cuantitativamente. Por otro lado, es importante destacar, que existen limitaciones para la técnica, un caso clásico, cuando la estructura está carbonatada, siendo sus resultados confundidos.

4. CONCLUSIONES

Los resultados nos muestran que la penetración de cloruro es menor en probetas de concreto parcialmente sumergidas en agua de mar siguiendo este orden:

- Proporción rico
- Proporción medio
- Proporción pobre

En todas las proporciones que fueron parcialmente sumergidos, la penetración de cloruros fue mayor con profundidad de 1 cm. Las probetas no sumergidas en agua de mar presentaron presencia, en promedio menor que 50% de cloruros de lo que los parcialmente sumergidos.

Se puede concluir que las estructuras de concreto que están parcialmente inmersas en agua de mar necesitan de un cuidado especial en su proyecto (proporción, recubrimiento, pintura protectora) así como mantenimientos periódicos para su vida útil y posibles colapsos.

Ante este levantamiento se obtuvo resultados de profundidad y de penetración de cloruros para proporciones: rico medio y pobre lo que debe ayudar a los profesionales a trazar parámetros para que se pueda aumentar la vida útil de construcciones en contacto con la agresividad ambiental. Es importante el cuidado con los materiales a ser usados, direccionando el tipo de cemento, resistencia para el concreto que desarrollen actividades en contacto parcial con agua de mar en la región metropolitana de Recife o en otra ciudad con atmósfera marina.

A partir de los ensayos realizados, se puede concluir que cuanto mayor es la resistencia del concreto, mayor será su resistencia a la penetración de iones cloruros mantenidos los mismos materiales de proporción.

Para tanto se sabe que, al depender de los componentes químicos existentes en los cementos y sus respectivas fases, tendrán una influencia significativa en la capacidad de combinarse químicamente (combinarse) con los cloruros. Las fases de los aluminatos (C₃A y C₄AF), son las fases que se combinan químicamente con los cloruros formando los cloro aluminatos, por otro lado, las fases principales responsables por la generación del gel C-S-H, son C₃S y C₂S, y con consecuencias en sus hidrataciones generaciones resistencias a compresión. Por tanto, hay una mayor influencia

sobre componentes del cemento en su capacidad de combinarse químicamente con los cloruros de lo que la resistencia a compresión.

Ese resultado ya era esperado porque mientras mayor es la resistencia del concreto menor es la cantidad de poros, aumentando la dificultad de penetración de iones cloruros. Este estudio de caso tuvo como objetivo comparar muestras de concreto con diferentes concentraciones de cemento en su composición en relación con la penetración de cloruros cuando son sumergidos o no en agua de mar.

Con el resultado fue concluido que los concretos con mayores resistencias (factor agua cemento menor) tiene una resistencia mayor a la penetración de los iones cloruros, teniendo en cuenta que este resultado es esperado, pues el concreto con mayor resistencia tiene a que los poros queden bien reducidos, dificultando así la entrada de los iones cloruros en ese tipo de estructura. Es importante destacar que tales concretos estudiados en esa pesquisa, pueden ser utilizados en refuerzos estructurales.

5. REFERENCIAS

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.