



**UNICAP**  
**UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO**  
Programa de Pós-Graduação - Mestrado em Engenharia Civil

**ADRIANA MARIA MONTEIRO PASSOS**

**VERIFICAÇÃO DE PENETRAÇÃO DE CLORETOS EM CORPOS  
DE PROVA PARCIALMENTE IMERSOS EM ÁGUA DO MAR E  
RECIFE, PE**

Recife, PE  
Junho / 2013



**UNICAP**  
**UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO**  
Programa de Pós-Graduação - Mestrado em Engenharia Civil

**ADRIANA MARIA MONTEIRO PASSOS**

**VERIFICAÇÃO DE PENETRAÇÃO DE CLORETOS EM CORPOS  
DE PROVA PARCIALMENTE IMERSOS EM ÁGUA DO MAR E  
RECIFE, PE**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Mestrado de Engenharia Civil, da Universidade Católica de Pernambuco para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Tecnologia e Materiais.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Eliana C, Barreto Monteiro

Recife, PE  
Junho / 2013

P289v      Passos, Adriana Maria Monteiro  
              Verificação da tendência de penetração de cloretos em  
              corpos de prova parcialmente imersos em água do mar Recife, PE /  
              Adriana Maria Monteiro Passos ; orientadora Eliana C. Barreto Monteiro,  
              2013.  
              80 f. : il.

              Dissertação (Mestrado) - Universidade Católica de Pernambuco.  
              Pró-reitoria Acadêmica. Coordenação Geral de Pós-graduação. Mestrado  
              em Engenharia Civil, 2013.

              1. Concreto armado - corrosão. 2. Cloretos. 3. Concreto.  
              4. Mohr, Método de. I. Título.

CDU 620.193

## **DEDICATÓRIA**

Agradeço e dedico essa dissertação para todos que me ajudaram diretamente ou indiretamente no processo de sua construção.

À vocês meu muito obrigada!

## **RESUMO**

Em cidades que estão sujeitas a essa exposição salina, as construções de concreto ou concreto armado, ora em contato com água do mar ora não, ou à vontade dos mares sempre sofrem patologias e desgastes mecânicos; que exigem permanente manutenção. O Brasil atualmente; 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, piers, 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 contem elevada quantidade de íons de cloretos; e essa exposição torna mais vulnerável essas estruturas de concreto.

Esta dissertação pesquisou e estudou a penetração de cloretos, de acordo com parâmetros da ISO TC 71/SC 1 de 26/07/2010, ISO/WD 1920-11, ISO TC 71/SC 1/WG SII, e a ABNT NBR 12655, experimentando corpos de prova de concreto, de diferentes resistências que ficaram parcialmente imersos em água do mar; verificando quantidade e a profundidade de penetração de íons de cloretos. Portanto, o principal objetivo deste trabalho foi, através de ensaios químicos, a definição do quantitativo de íons de cloretos em exemplares com concreto de traços de diferentes resistências, à diferentes profundidades.

De acordo com as expectativas, verificou-se com os ensaios em laboratórios que quanto e mais rico o traço de concreto, acontece menor quantidade de penetração de íons de cloretos. Portanto se pode dizer que o percentual de penetração de íons cloreto é menor para o traço rico, em relação ao traço médio e o pobre em todas as perfurações feitas nos corpos de prova estudados.

**Palavras chaves:** ISO, ÍONS DE CLORETOS, MÉTODO DE MOHR, ÁGUA DO MAR, CONCRETO PARCIALMENTE SUBMERSO.

## **ABSTRACT**

Urban concrete or reinforced concrete structures built in saline environments, under either intermittent or continuous sea water exposure, usually present mechanical wear and structure pathology problems that require relentless maintenance care. Currently, Brazil has a large number of civil construction equipment and buildings under direct or near direct contact with the sea and the city of Recife, Pernambuco State capital, for one, figures among the top most exposed cities in terms of number of urban equipment in contact with sea water, including buildings, bridges, mooring sites, footbridges, piers, i.e., design projects that essentially imply concrete structures located under diverse marine exposure conditions such as underwater or partially submerged structures, or structures located in tidal zones or areas under mist or sea water splash environments. Sea water carries rather high chloride ion contents, hence making those exposed structures especially vulnerable.

A chloride penetration study was carried out according to ISO TC 71/SC 1 (07/26/2010 release), ISO/WD 1920-11, ISO TC 71/SC 1/WG SII, and Brazilian ABNT NBR 12655 standards. Concrete core samples of several strength levels were kept partially submerged in sea water; chloride ion contents and penetration depths were recorded. Furthermore, a number of chemical analyses have been conducted in order to estimate chloride contents present at several depths in various concrete samples prepared with several W/C ratios, hence with different strength values.

According to what one might expect, laboratory assays indicated that the deeper the axial sample taken from the exposed core for analysis and the more concentrated the concrete Water/Cement ratio, the lower the chloride penetration. Therefore, the chloride ion penetration rate indeed decreases as the W/C ratio gets richer, when compared to average and poor W/C ratios for all sampled penetration depths analyzed.

**Key words:** ISO, CHLORIDE IONS, MOHR METHOD, SEA WATER, PARTIALLY SUBMERGED CONCRETE.

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1: Ocorrência de patologias

Figura 2: Quadro de gasto com manutenção

Figura 3: Mapa da cidade do Recife

Figura 4: Quadro das Classes de agressividade ambiental

Figura 5: Quadro da determinação do cobrimento nominal em relação à classe de agressividade ambiental

Figura 6 Concreto em ambiente marinho

Figura 7: Manifestações típicas em estrutura expostas a submissão das marés

Figura 8: Mapa da variação da salinidade no oceano atlântico sul

Figura 9: Proporção entre os principais elementos constituintes em amostra de água do mar

Figura 10: Regiões do Recife /Pe

Figura 11: Tabela dos limites máximos de teor de cloretos aceitos em alguns países

Figura 12: Formas de ocorrências de íons cloreto na estrutura do concreto

Figura 13: Quadro Concreto X Classe de Agressividade

Figura 14: Quadro requisitos para concreto, em condições especiais de exposição

Figura 15: Tabela resumo de algumas variáveis envolvidas nas pesquisas do método colorimétrico de aspersão de nitrato de prata

Figura 16: Preparação do corpo de prova

Figura 17: Exemplo de um corpo de prova imerso com superfícies impermeabilizadas

Figura 18: Exemplo de um corpo de prova com um tanque impermeabilizado sobre a superfície

Figura 19: Exemplo de um corpo de prova invertido e dispositivo de exposição

Figura 20: Quadro de intervalos de profundidade recomendados (milímetros) de trituração de perfis para o concreto à base de cimento Portland

Figura 21 - Corpo de prova e corpos de prova menores de uma amostra

Figura 22: Corpos de prova confeccionados para os ensaios

Figura 23: traços

Figura 24: Quadro das resistências a compressão média

Figura 25: Processo de cortar nomear e pintar os corpos de prova

Figura 26: Ensaio com a água do mar (desenho esquemático)

Figura 27: Ensaios de perfuração e ensacamento das amostras

Figura 28: Ensaios de perfuração

Figura 29: Quadro do número de amostras para ensaio de penetração de cloretos

Figura 30: Balança digital.

Figura 31: Pó da amostra

Figura 32: Pó da amostra diluído

Figura 33: Esquema dos ensaios realizados no laboratório de química (desenhos esquemáticos)

Figura 34: Quadro dos resultados dos ensaios realizados no laboratório de química – Amostras de corpos de prova de traço pobre com imersão na água do mar

Figura 35: Quadro dos resultados dos ensaios realizados no laboratório de química – Amostras de corpos de prova traço médio com imersão na água do mar

Figura 36: Quadro dos resultados dos ensaios realizados no laboratório de química – Amostras de corpos de prova traço rico com imersão na água do mar

Figura 37: Quadro dos resultados dos ensaios realizados no laboratório químico – Amostras de corpos de prova traço rico, médio e pobre sem imersão na água do mar .

Figura 38: Quadro do resumo relação massa cimento

Figura 39: Traço pobre cloretos x profundidade.

Figura 40: Traço médio cloretos x profundidade

Figura 41 Traço rico - cloretos x profundidade

Figura 42: Gráfico 6 Perfil de cloretos totais

Figura 43: Quadro do ensaios da água do para determinação do teor de cloretos

## **LISTA DE FOTOGRAFIAS**

Fotografia 1 : Ponte Princesa Isabel - Recife.

Fotografia 2: Hotel Tambaú – João Pessoa /PB

Fotografia 3 : Oetheanung, Dormarch, Suíça, 1924- obra do arquiteto Rudolf Joseph Lorenz Steiner

Fotografia 4: Museu de Arte Moderna, Rio de Janeiro, 1953. Affonso Eduardo Reidy

Fotografia 5: Atracadouro de barcos – baia de Guaratuba/Pr

Fotografia 6: Hotel Tambaú – João Pessoa /PB

Fotografia 7 e 8 – Ataque característico devido à corrosão de armaduras em zona de variação de marés

Fotografia 9: Praia de Porto de Galinhas – PE

Fotografia 10: Vista panorâmica do Recife /Pe

Fotografia 11: Vista panorâmica de ponte

Fotografia 12: Vista panorâmica de ancoradouro

Fotografia 13: Ensaio com o método de MOHR

Fotografia 14: Ensaio de abatimento

Fotografias 17,18, 19 e 20: Processo de cortar nomear e pintar os corpos de prova

Fotografias 21, 22 e 23: Ensaio com a água do mar

Fotografias 23, 25: Ensaio com a água do mar (fotos)

Fotografia 15: Moldagem dos corpos de provas

Fotografia 16: Cura úmida em laboratório

Fotografias 26, 27: Ferramentas e perfuração dos corpos de prova

Fotografias 28 e 29: Ensaio de perfuração com furadeira fixa

Fotografias 30 e 31 : Ensaio de perfuração com furadeira manual

Fotografia 32: Corpos de prova perfurados

Fotografia 33: Amostras

Fotografia 34: Conjunto dos corpos de prova perfurados parcialmente submersos (10 x 10 cm) e não imersos (20 x 20 cm)

Fotografia 35: Utensílios usados nos ensaios

Fotografia 36: Amostras

Fotografia 40 e 41 : Colocação e coloração do Indicador - cromato de potássio

$K_2CrO_4$  a 5%

Fotografia 42: Ensaio com nitrato de prata

Fotografia 43: Elementos dos ensaios .

## **LISTA DE SIGLAS**

**ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas

**ABCP** - Associação Brasileira de Cimento Portland

**ABECE** - Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural

**IBRACON** - Instituto Brasileiro do Concreto

**PE** – Pernambuco

**ISO**

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>16</b>
1.1 JUSTIFICATIVA	21
1.2 OBJETIVOS	22
1.2.1 Objetivo geral	22
1.2.2 Objetivos específicos	23
1.3 METODOLOGIA E ESTRATÉGIA DE AÇÃO	23
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>24</b>
2.1-AMBIENTE MARINHO	24
2.2-A ÁGUA DO MAR	31
2.3- CLORETOS	34
2.4 - A CIDADE DO RECIFE E O CONTATO COM O MAR	34
<b>3.MÉTODO DE MOHR</b>	<b>41</b>
<b>4. NORMATIZAÇÃO</b>	<b>43</b>
4.1- ISO TC 71/SC 1 –ISO /WD 1920-11 ( JULHO / 2010 ) CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND – PREPARO,CONTROLE E RECEBIMENTO – PROCEDIMENTO.	43
<b>5. MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>56</b>
5.1-PROGRAMA DE ENSAIOS	56
5.1.1-LABORATÓRIO DE MATERIAIS	57
5.1.2- LABORATÓRIO DE QUÍMICA	68
<b>6. RESULTADOS E DISCURSÕES</b>	<b>73</b>
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>82</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>84</b>

## **APRESENTAÇÃO**

Dissertação desenvolvida por Adriana Maria Monteiro Passos na Universidade Católica de Pernambuco UNICAP para obtenção de mestre em Engenharia Civil ; orientada pela professora Dra. Eliana Barreto Monteiro .

Os ensaios deste trabalho foram realizados na UNICAP ; no Laboratório de Materiais e no Laboratório de Química ,este último com a colaboração do professor Sérgio C. Paiva .

**Palavras chaves:** ISO ,CLORETOS, MÉTODO DE MOHR ,ÁGUA DO MAR, CONCRETO SEMI SUBMERSO.

## 1. INTRODUÇÃO

A todo tempo o ser humano necessita construir para desenvolver atividades de: residir (casas, edifícios), trabalhar (fábricas, prédios, oficinas, escritórios, e outros), lazer (parques) e de infraestruturas (ruas, pontes, barragens, metrô, e outros) e para tanto foi necessário desenvolver conhecimento técnico e científico para tal.

A humanidade acumulou um grande acervo científico ao longo dos séculos, o que permitiu o desenvolvimento da tecnologia da construção, abrangendo a concepção. O cálculo, a análise e o detalhamento das estruturas, a tecnologia de materiais e as respectivas técnicas construtivas (SOUSA e RIPPER, 1998, pg.13)

No Brasil, de acordo com Andrade e Costa Silva (2005), a utilização do concreto armado nas construções tomou força a partir dos anos 50; apesar de que desde o início do século XX, já havia registros de edifícios que utilizavam o concreto como material de construção. Tal acontecimento se deu por conta da herança da revolução industrial que modificou técnicas e trouxe novos materiais.

Com a tecnologia se pode desenvolver novas formas e técnicas construtivas, mas também o aparecimento de patologias nas construções que degradam e podem causar até o seu colapso. Portanto se fazem necessários o estudo e a pesquisa para que se evite o dano e a manutenção periódica e sistemática.

A patologia das estruturas está desta forma, iniciando seu caminho pelo cadastramento da situação existente e pelo estudo detalhado de alguns casos de sistemas patológicos. Para o seu maior desenvolvimento, é imperativa a homogeneização de conceitos e métodos, de forma que os conhecimentos sobre essa área tão vasta e ainda pouco explorada possam ser aprimorados. (SOUSA e RIPPER, 1998, pg.15)

Entre essas patologias está a penetração de íons de cloretos que afeta construções em locais litorâneos ou junto ao mar que possui grande concentração de íons cloretos livres. Entender como acontece e prevenir a penetração de íons cloretos em construções e estruturas de concreto e concreto armado que estão submersas, semi submersas em água do mar ou em submissão a marés, tais como : edifícios (ver fotografia 2), portos, pontes (ver fotografia 1), piers , ancoradouros tem sido objeto de estudo de várias pesquisas para desenvolver soluções que aumentem a vida útil da estrutura. Portanto se desenvolvem formas de ensaios e pesquisas para obter resultados que definam soluções adequadas a cada situação.

Segundo Gastaldini et al, ``o agente agressivo mais comum no concreto é o íon de cloreto, considerado como a maior causa de corrosão prematura das armaduras das estruturas ,afetando sua estabilidade e durabilidade

Fotografia 1 : Ponte Princesa Isabel - Recife.



Fonte:Arquivo pessoal /2012

Fotografia 2: Hotel Tambaú – João Pessoa /PB.



Fonte: Stuckere Filho – google fotos /2012

A possibilidade de quantificar e dimensionar a profundidade de penetração é uma das formas de ajudar desde o projeto à manutenção. São mecanismos de deterioração relativos à armadura: corrosão por elevado teor de íons cloro (cloretos), penetração de cloreto através de difusão, impregnação ou de absorção capilar de águas contendo teores de cloreto que instalam a corrosão; portanto, o entendimento e a prevenção são indispensáveis.

Sabe-se que esse íon é considerado o agente agressivo mais comum concreto e responsável pela corrosão prematura das armaduras das estruturas de concreto, afetando sua estabilidade e durabilidade. Swamy e Laiw (1995) comentam que a corrosão de armaduras devido ao ingresso de íons de cloretos da água do mar no concreto é universalmente conhecida como fator de maior influência nos mecanismos destrutivos de estrutura marinha(GASTALDINI et al, IBRACON-2009; pg 2).

De acordo com Mehta e Monteiro (2008) 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 sido largamente utilizado pelos arquitetos em obras, pela possibilidade de formatos, valorização estética das estruturas e usos, podendo ser moldado dando margem a criatividade, principalmente quando usado aparente, sem revestimento. Segundo Rivera (2007, pg.9). O concreto aparente é o

concreto cujas superfícies visíveis cumprem funções estéticas e apresentam uma aparência previsível.

Até o final da segunda guerra mundial o concreto foi utilizado em edificações com finalidade predominantemente estrutural, sendo revestido por diversos materiais (argamassas, cerâmicas, pedras, etc.), já que sua estética era considerada pouco atrativa para ficar exposta (SILVIO, 1995, pg.5), no entanto, na primeira metade do Século XX, arquitetos como Steiner, Frank Lloyd Wright, Loos, Gropius, Aalto, Le Corbusier, Marcel Breuer dentre outros, fizeram trabalhos significativos na exploração da plasticidade e de texturas do concreto. O concreto começou a ser utilizado aparente, sem revestimento, e as obras de arquitetura desenvolveram o chamado ``brutalismo`` construtivo. Para tal houve maior necessidade na confecção do concreto e cuidado com a espessura do recobrimento

Fotografia 3 : Oetheanung, Dormarch, Suíça, 1924- obra do arquiteto Rudolf Joseph Lorenz Steiner



Fonte: Silvio, 1995

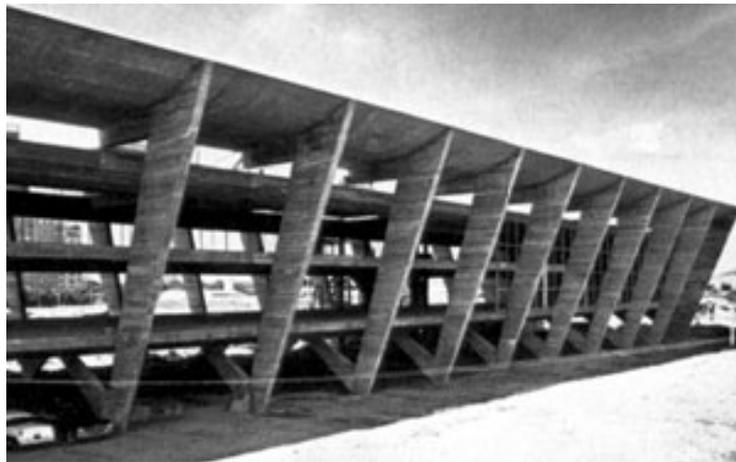
O concreto para uso aparente, segundo Helene (2005, pg. 465), deve ter resistência à compressão superior à 40MPa, fator água/cimento inferior a 0,45 e cimentos com baixo teor de silicato tri-cálcico, para reduzir ocorrência de eflorescências. Também deve ser executado com traço mais argamassado, para efetuar adequado acabamento superficial e sua desforma ser efetuada em mesmo tempo, para obter coloração homogênea. Além do tempo na fôrma, também influem na cor/tonalidade final do concreto aparente, dentre outros, o cimento, o tipo e o teor de adições (escória, pozolanas, metacaulin, sílica ativa, etc.) e os agregados miúdos e graúdos. Definido o

padrão a ser utilizado na obra é importante que as características dos materiais do concreto aparente sejam mantidas até a finalização para que se obtenha o resultado homogêneo.

Segundo Rivera (2007, pg.9), em Cartilha destinada a Contratação, Execução e Recebimento de Concreto com Superfícies Aparente Conformadas, apresentada em 1976 pelo Instituto Alemão do Concreto e a Associação Federal Alemã, veio a lume a primeira definição de concreto aparente – “concreto aparente é o concreto cujas superfícies visíveis cumprem funções estéticas e apresentam uma aparência previsível”.

A Arquitetura Brutalista, do século XX, foi um movimento arquitetônico desenvolvido por arquitetos modernos em meados das décadas de 50 e 60. O brutalismo desenvolveu-se a partir de uma radicalização de determinados preceitos modernos. Apesar de hoje ser chamado como *movimento*, não se constituiu efetivamente de um projeto coletivo com ideais comuns. O Brutalismo privilegiava a *verdade estrutural* das edificações, de forma a nunca esconder os seus elementos estruturais, o que se conseguia ao tornar o concreto armado aparente, criando uma nova estética e relações visuais marcantes entre o exterior e o interior das construções.

Fotografia 4: Museu de Arte Moderna, Rio de Janeiro, 1953. Affonso Eduardo Reidy



Fonte: Benevolo, 1995

Todavia, usando o concreto aparente ou revestido precisa-se, mantê-lo e recupera-lo dos agentes agressivos ou até mesmo do seu tempo; que por vezes comprometem o desempenho das construções.

Os tempos modernos ditaram a certeza de que o concreto, como material de construção, é instável ao longo do tempo, alterando suas propriedades físicas e químicas em função das características de seus componentes e das respostas destes às condicionantes do meio ambiente. (SOUSA e RIPPER, 1998 ,pg.17)

A modernização do mecanismo de estudo da durabilidade passa pela avaliação e compatibilização entre a agressão ambiental, por um lado, e a "qualidade" do concreto e da estrutura ,por outro , este cenário definido à luz do tempo e do custo da estrutura. (SOUSA e RIPPER, 1998 ,pg.19)

Entre as principais causas das patologias que atacam o concreto armado estão:

- Ação do calor ou do frio.
- Clima e umidade.
- Reação álcalis /agregado.
- Agressividade química.
- Corrosão de armadura por carbonatação ou/e por cloretos.

Figura 1: Ocorrência de patologias.



Fonte: Helene, 1992; apud Chistófolli, 2012.

E segundo Sousa e Ripper (1998), deve-se observar para a maior durabilidade das estruturas de concreto, os parâmetros e as condições para uma construção mais durável são:

- Dosagem mínima de cimento.
- Método de cura.

- Cobrimento mínimo das armaduras.
- Resistência do concreto.
- Fator água/cimento.

A manutenção e reparo, por vezes, das construções, representam custos inesperados e quase iguais ao da construção (ver quadro 1). Isso além de não se justificar, é inviável para a sustentabilidade; e cabe a nós, enquanto profissionais, mudar essa realidade.

Figura 2: Quadro de gasto com manutenção.

<b>Gastos com manutenção e reparo em países desenvolvidas (UEDA, TAKEWARÁ, 2007)</b>			
<b>País</b>	<b>Gatos com construções novas</b>	<b>Gastos com manutenção e reparo</b>	<b>Gastos totais com construção</b>
França	85,6 bilhões de euros 52%	79,6 bilhões de euros (48%)	165,2 bilhões de euros (100%)
Alemanha	99,7 bilhões de euros (50%)	99,0 bilhões de euros (50%)	198,7 bilhões de euros (100%)
Itália	58,6 bilhões de euros (43%)	76,8 bilhões de euros (57%)	135,4 bilhões de euros (100%)
Reino Unido	60,7 bilhões de pounds (50%)	61,2 bilhões de pound (50%)	121,9 bilhões de pounds (100%)

Observação: Todos os dados se referem ao ano de 2004, exceto no caso da Itália que se refere ao ano de 2002.

Fonte : Ueda,Takewara, 2007 ; apud Medeiros , Helene ,2010 ; pela autora , 2013.

## 1.1 - JUSTIFICATIVA

Esta pesquisa se justifica pela importância do estudo da tendência da penetração de íons de cloretos livres, nas construções de concreto ou concreto armado, ora em contato com água do mar ora não, ou à vontade dos mares. Essas estruturas, sempre sofrem manifestações

patologias e desgastes mecânicos; que exigem permanente manutenção em cidades que estão sujeitas a exposição salina.

O Brasil atualmente; 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, por conta de sua localização geográfica. 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 contém elevada quantidade de íons de cloretos; e essa exposição das construções em concreto torna mais vulnerável essas estruturas. 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.

Figura 3: Mapa da cidade do Recife



Fonte: Magellan Geographix, 1996

## 1.2 - OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Verificação da tendência de penetração de cloretos em corpos de provas parcialmente imersos em água do mar – Recife, PE.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Utilizar a **ISO TC 71/SC 1** de 26/07/2010 como referência aos procedimentos de penetração de cloretos.
- Utilizar método de MOHR como referência dos ensaios em laboratório químico.
- Traçar uma relação entre as grandezas em exemplares com concreto de traço: pobre, médio e rico com penetração de cloretos parcialmente submersos em água do mar.
- Quantificar e dimensionar a profundidade de penetração.
- Utilizar de novas normas de pesquisa e métodos de estudo.

### 1.2 METODOLOGIA E ESTRATÉGIA DE AÇÃO (ESCOPO DO TRABALHO)

O presente trabalho está dividido em seis capítulos e as considerações finais, conforme roteiro a seguir:

✓ 1-Introdução

✓ 2-Revisão Bibliográfica

Este capítulo foi abordado os temas pertinentes à pesquisa, estes, já estudados por outros autores, citações de livros, dissertações, periódicos. Tais pesquisas resultaram nos itens ambiente marinho, água do mar, cloretos, a cidade do Recife e o contato com o mar, massa de cimento e íons de cloreto.

✓ 3-Método de Mohr

Este capítulo fala do que se trata este método e como utiliza-lo.

✓ 4- Normatização

Este capítulo explica o método de ensaios para cloretos segundo a ISO TC 71/SC 1 de 2010.

✓ 5- Materiais e métodos

Este capítulo mostra e explica os ensaios feitos com corpos de prova de diferentes traços parcialmente imersos na água do mar no laboratório de materiais e químico.

✓ 6- Resultados

Apresenta os resultados encontrados e as conclusões

✓ 7- Considerações finais

## 2-REVISÃO BIBLIOGRÁFICA:

### 2.1-AMBIENTE MARINHO

Em todo ambiente marinho, aqueles junto a costa ou no mar possuem segundo Helene (1996, pg.19); cloretos de sódio, cloretos e sulfatos de magnésio, quer em forma de cristais, quer em forma de gotículas de água salgada:

- Íons sulfatos ( $\text{SO}_4^{--}$ ).....aproximadamente 2800 mg/l
- Íons cloretos ( $\text{Cl}^-$ ) .....aproximadamente 20000 mg/l
- Íons magnésio ( $\text{Mg}^{++}$ ) .....aproximadamente 1400 mg/l

Todos esses elementos contribuem para os problemas futuros nas estruturas de concreto e corrosão de armaduras. As cidades costeiras possuem essas patologias com maior frequência nos seus edifícios do que as cidades mais afastadas da costa ou em ambiente rural.

As estruturas de concreto armado construídas em locais próximos ao mar sofrem ação agressiva dos cloretos presentes no aerossol marinho. Essa concentração é influenciada pela distância ao mar e pelas condições climáticas. Os cloretos presentes na atmosfera se depositam na superfície do concreto e penetram na estrutura, podendo danificá-la ao atingir a armadura (BORBA Jr., et AL; IBRACON, 2009, pg.01).

O ambiente marinho é reconhecidamente agressivo às estruturas de concreto. A influência do ambiente marinho na durabilidade das estruturas de concreto depende do micro clima no qual a região da estrutura se encontra, podendo, cada um dos climas característicos do ambiente marinho, atuar de forma específica, com reações características. 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, s/p).

Existem várias áreas de agressividade ambiental, para tal, são determinados critérios diferenciados com relação a produção do concreto, bem como, a definição dos seus elementos. Sem dúvidas as estruturas de concreto em ambiente marinho têm maior índice de deterioração e corrosão de armadura e os íons de cloretos é um dos principais agentes desses problemas.

Segundo Andrade (2001) 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 as 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.

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. Este mecanismo depende do diâmetro dos poros, da tensão superficial do líquido, da sua densidade e da sua viscosidade (KROPP et al, 1995; apud Meira, 2009, pg.20).

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 (CRANK, 1975; apud Meira, 2009, pg.20).

Em 2003 a NBR 6118 já determinava as classes de agressividade ambiental para construções de concreto em áreas urbanas ou rurais, identificando-as como: fraca, moderada, forte ou muito forte.

Figura 4: Quadro das Classes de agressividade ambiental.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana <sup>1 2</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>1</sup>	Grande
		Industrial <sup>1 2</sup>	
IV	Muito forte	Industrial <sup>1 3</sup>	Elevado
		Respingo de maré	

<sup>1</sup> 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).

<sup>2</sup> 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.

<sup>3</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes e indústrias químicas.

Fonte: NBR 6118, 2007

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 6118/2000, já recomendava 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. No entanto, para garantir a qualidade do cobrimento a NBR 6118 (2007) recomenda que relação água/cimento máxima seja de 0,65 para estruturas enquadradas na classe I de agressividade.

Figura 5: Quadro da determinação do cobrimento nominal em relação à classe de agressividade ambiental.

Cobrimento nominal (MM)	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV <sup>3</sup>
Concreto armado	Laje <sup>2</sup>	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
Concreto armado <sup>1</sup>	Todos	30	35	45	55

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

2) Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimento finais secos, tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento asfálticos, e outros tantos, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelo item a, respeitando um cobrimento nominal  $\geq 15\text{mm}$ ;

3) As faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambiente química e intensamente agressivos devem ter cobrimento nominal  $\geq 45\text{mm}$ .

Fonte: NBR 6118, 2007

A maioria das construções em contato direto com o ambiente marinho, adquire patologias em pouco tempo de construídas, com grande decomposição do concreto e elevada corrosão das armaduras. A água do mar possui elevada quantidade de íons de cloretos e essa exposição torna mais vulnerável essas estruturas de concreto.

Fotografia 5: Atracadouro de barcos – baía de Guaratuba/Pr.



Fonte: Exame s/c Ltda. - tecnologia; apud Chistófolli, 2012.

A classificação entre ambientes agressivos e não agressivos é muito relativa e refere-se, principalmente, aos teores de  $H_2S$ ,  $SO_2$ ,  $NO$ ,  $SO_4$ ,  $Cl^-$  (HELENE, 1986; pg.30)

Esses elementos são extremamente agressivos e contribuem, para aceleração do processo de corrosão das armaduras embebidas em concreto, mesmo quando em pequenas proporções. Como referência, a velocidade de corrosão em atmosfera marinha pode ser da ordem de 30 a 40 vezes superior à que ocorre na atmosfera rural (pura) (HELENE, 1986; pg.19)

Fotografia 6: Hotel Tambaú – João Pessoa /PB



Fonte: Site do hotel/2012

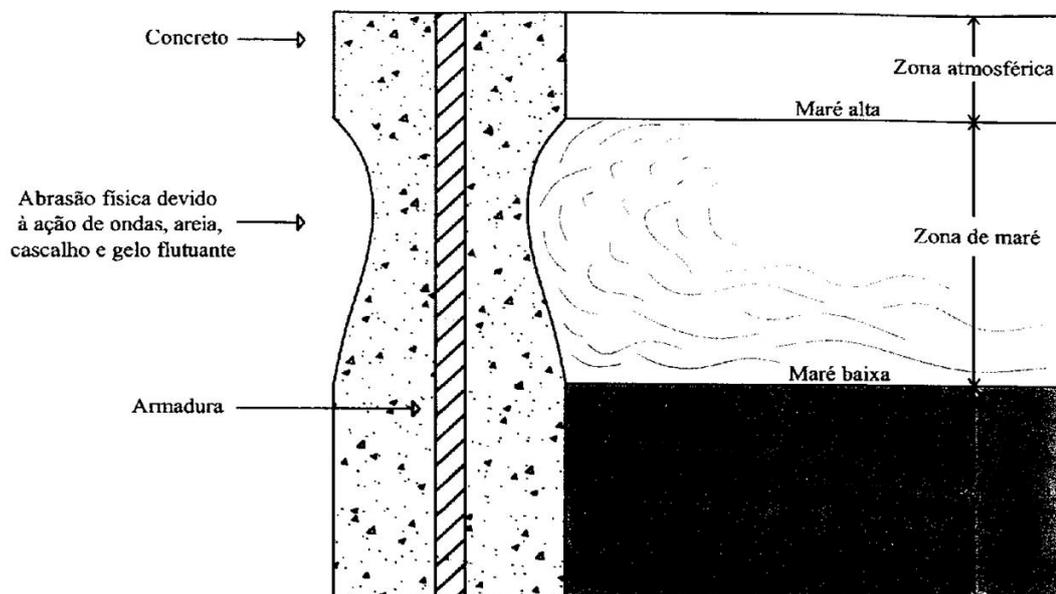
Em cidades que estão sujeitas a essa exposição salina, as construções de concreto ou concreto armado aparente, ora em contato com água do mar dos mares sempre sofrem patologias e desgastes mecânicos; que exigem permanente manutenção.

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.

Lima e Morelli (2004), apresentam as distintas regiões (zonas) de agressividade às estruturas de concreto armado.

A agressividade do ambiente marinho às estruturas de concreto deve, assim, ser dividida em dois aspectos completamente distintos, com características de ataque distintas: uma relativa à degradação do concreto, pela ação dos sais agressivos; outra pelos processos de corrosão das armaduras, devido à presença de íons Cloreto e a alta umidade do ambiente (LIMA e MORELLI, 2004, s/p).

Figura 6: Concreto em ambiente marinho.

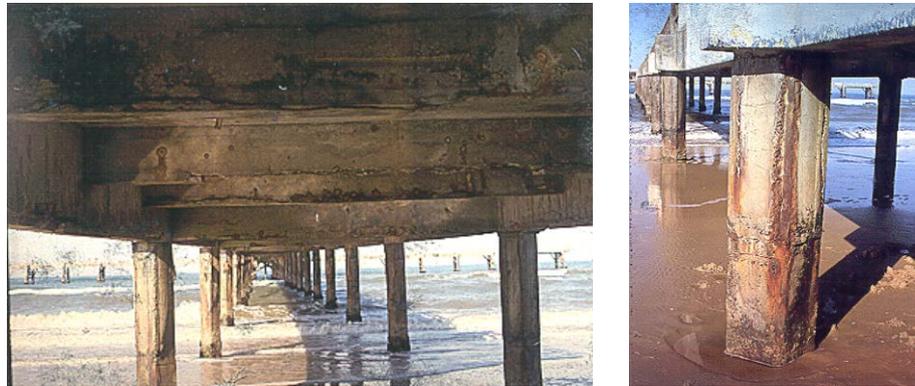


Representação esquemática de uma estrutura de concreto armado exposto à água do mar  
 Fonte: Adaptado de MEHTA; MONTEIRO (2008).

Fonte: Mehta e Monteiro (2008) adaptada pela autora (2013)

Na sequência, um ancoradouro de Atlântida, no Rio Grande do Sul, onde se observa na vista inferior da passarela e na vista lateral dos pilares os ataques patológicos .

Fotografia 7 e 8 – Ataque característico devido à corrosão de armaduras em zona de variação de marés.



Fonte: Lima, 1987.

Segundo Siqueira, 2012, uma extensa variedade de patologias acontece nas pontes no Brasil, como juntas de dilatação ineficazes, aparelhos de apoio disformes, corrosão de armaduras e reação álcali-agregado.

Nenhum outro contaminante comum está tão extensivamente documentado na literatura como causador de corrosão dos metais como estão os cloretos (Cl-) (Casudo, 1997, pg.41).

A presença de uma grande quantidade de íons de cloreto; os quais podem advir tanto do meio externo e atingir a armadura por difusão, quanto podem estar no interior do concreto pela água de amassamento e/ou em agregados contaminados ou mesmo devido à presença de aditivos aceleradoras de pega e endurecimento à base de cloreto de cálcio (CaCl<sub>2</sub>) (Casudo, 1997, pg.41).

Segundo Helene, 1992 as manifestações típicas de deterioração generalizada que ocorrem em estruturas em água do mar, são: desgaste mecânico, corrosão dos elementos semi submersos , quebra de arestas e cantos, fissuras.

Figura 7: Manifestações típicas em estrutura exposta a submissão das marés.



Fonte: Helene, 1992; adaptada pela autora/2013.

A British Standards Institution \_ BSI ,diz que sob condições agressivas o cobrimento recomendado para concretos normais é de 40 mm e para os leves de 50mm .Prestressed Concrete Institute – PCI (1975 e 1977) (apud HELENE , 1986 ); defende que o concreto para estruturas marinhas ,deve ser :

#### 1.Cimento:

- Portland comum com  $C_3 A \leq 4\%$
- Portland de alto forno com alto teor de escória
- Portland pozolânico

#### 2. Consumo :

- 370 kg/m<sup>3</sup>
- $\geq 400$  kg/m<sup>3</sup> na zona de respingos .
- $\geq 320$  kg/m<sup>3</sup> para concretos com D Max. = 40 mm ( zona submersa ou aérea )
- $\geq 400$  kg/m<sup>3</sup> para concretos com D Max. = 20 mm ( zona submersa ou aérea )

#### 3. Relação água/cimento :

- $\leq 0,45$  ( preferivelmente 0,42 )
- $\leq 0,45$  na zona de respingos
- $\leq 0,45$  demais zonas

#### 4. Cobrimento da armadura para elementos espessos ( $\geq 30$ cm)

Totalmente submersos :  $\geq 50$  mm a  $\geq 60$  mm

Zona de respingos :  $\geq 62,5$  mm

Zona aérea  $\geq 40$  mm

Zona do mar ou atmosfera marinha,

para resistência à compressão de:  $40 f_{ck_{28} - 50}$  e  $50 f_{ck_{28} - 50}$

### 2.2- A ÁGUA DO MAR

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

Fotografia 9: Praia de Porto de Galinhas – PE



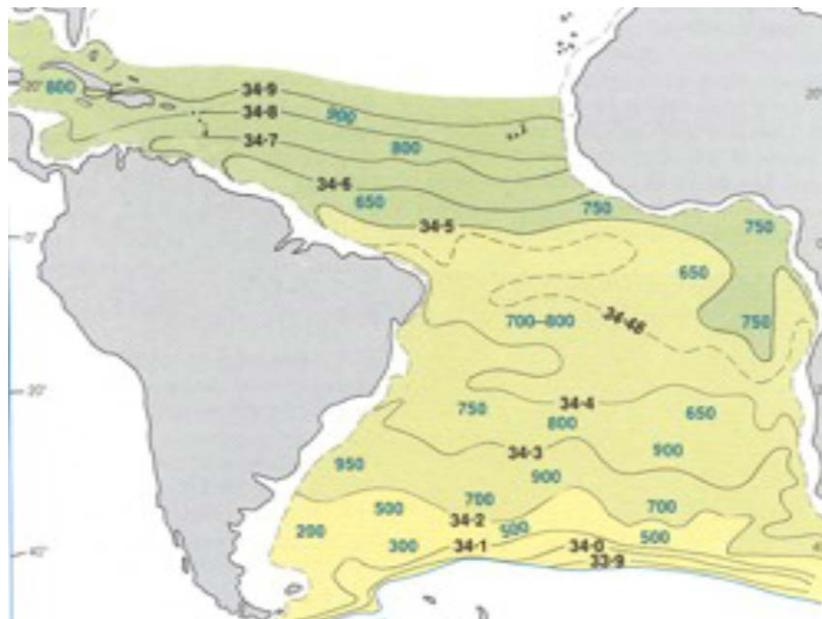
Fonte: Mota et al, 2010

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 Maiores1 - 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.
  - Elementos Menores - Br, C, Sr, B, Si, F (são aqueles que se apresentam em quantidades maiores que 1 ppm e menos que 100 ppm)
  - Elementos Traços - N, Li, Rb, P, I, Fe, Zn, Mb (são aqueles que se apresentam em quantidades maiores que 1 ppm e menos que 100 ppm).
- OBS: ppm – parte por milhão.

Segundo Mehta e Monteiro, no ambiente marinho, a água salgada é o principal agente responsável por processos físicos e químicos de degradação. Isto se explica pelo fato de que na água do mar é possível se encontrar todos os elementos naturais conhecidos da tabela periódica, cada um em uma determinada proporção. É importante lembrar que a concentração destes elementos pode variar consideravelmente com a localização, tempo, estação do ano e especialmente com a atividade biológica (MEHTA E MONTEIRO, apud LIMA e MORELLI, 2004, s/p).

Figura 8: Mapa da variação da salinidade no oceano atlântico sul.



Fonte: Lima e Morelli. 2004.

Segundo Lima e Morelli. (2004), o mapa acima refere-se as variações da salinidade no Oceano Atlântico sul. Os números pretos correspondem à salinidade, enquanto que os verdes, à profundidade que atinge a massa d'água superficial. Salientam que estes valores apenas ilustram as variações espaciais (com a latitude) em um período de tempo específico.

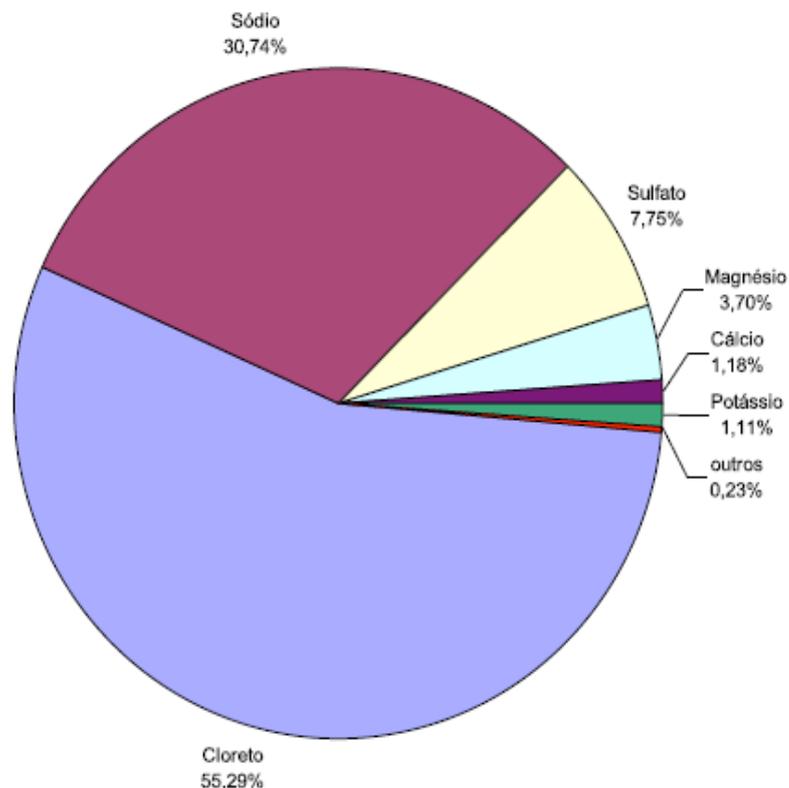
O essencial elemento integrante da composição da água do mar, com salinidade 35, é sódio, sulfatos, magnésio, cálcio, potássio, cloretos entre outros (Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, , Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>,

K+). É pertinente observar que em torno de 99% dos sais dos oceanos, a concentração de cloretos é bastante alta, marcando mais da metade da composição total.

A salinidade e a temperatura influenciam diretamente nas características físico-químicas da água do mar, por exemplo, alterando a densidade de uma massa d'água que acaba influenciando também na distribuição dos seres vivos e indiretamente podendo alterar o PH (LIMA e MORELLI, 2004, s/p).

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 33 a 37 no oceano aberto; sendo a média geral de salinidade para todos os oceanos é de 35 partes por mil.

Figura 9: Proporção entre os principais elementos constituintes em amostra de água do mar.



Fonte: Kiera Magee; adaptado por Lima e Morelli. 2004.

### 2.3 - CLORETOS

Na natureza não é encontrado em estado puro, já que reage com rapidez com muitos elementos e compostos químicos, sendo encontrado formando parte de cloretos e cloratos, sobretudo na forma de cloreto de sódio (NaCl) nas minas de sal gema e dissolvido na água do mar (WIKIPÉDIA, 2013).

Este elemento químico, são sais derivados do ácido clorídrico (HCl). Em sua maioria, são bem cristalizados e facilmente solúveis em água. Formam numerosos sais, obtidos a partir de cloretos por processos de oxidação, geralmente mediante a eletrólise. Associa-se com facilidade com a maior parte dos elementos.

O cloreto presente na composição do cimento, bem como, no concreto produz diferentes efeitos negativos, onde o mais usual é a corrosão das armaduras. É evidente a influência do cloreto na durabilidade de materiais de concreto, e, portanto se faz necessário o controle deste elemento em cimento pode assegurar a qualidade e segurança das estruturas em concreto.

Geralmente, a corrosão causada pelo cloreto em concreto leva ao seu inchamento e, conseqüentemente, à sua fragmentação. Uma vez fragmentado, há um aumento do contato do concreto e as estruturas metálicas com o ar e a umidade contendo dióxido de carbono, sulfato e outros ânions propiciando um aumento de corrosão (DUARTE et al, 2013).

### 2.4 - A CIDADE DO RECIFE E O CONTATO COM O MAR

No território brasileiro a corrosão das armaduras é responsável cerca de 20% de todas as patologias em estruturas de concreto. Em outras Regiões, a exemplo da Região Sul, observa-se que este índice pode chegar a 30%. (MOTA et al, 2010).

Em Pernambuco, no Brasil; atualmente existem vários equipamentos e construções em concreto que estão em contato direto ou semidireto com o mar. Recife sua capital, é uma das cidades que mais tem equipamentos urbanos em contato com a água do mar.

Todavia, em Recife observa-se que a relevância desta ação torna-se ainda maior, atingindo patamares próximos aos 65%; devido provavelmente à localização geográfica (MOTA et al, 2010).

Figura 10: Regiões do Recife /Pe



Fonte: Google, 2011

Veneza brasileira, Recife, e a sua região metropolitana em Pernambuco, possui, construções junto aos rios e ao mar pontes que montam sua paisagem urbana. Tais estruturas de concreto ou concreto armado ora estão submersas, ora parcialmente submersas de acordo com as marés, fazendo parte de nossa perspectiva e de apoio aos serviços. As pontes, portos, construções, ancoradouros são de extrema importância e precisão de grande vida útil. Essas construções por vezes possuem concreto de resistências inadequadas ao uso ou ausência de proteção devida, provocando, por vezes, manifestações típicas de desgaste.

Fotografia 10: Vista panorâmica do Recife /Pe.



Fonte: Google, 2011

As pontes podem ser definidas como esculturas que ligam topônimos, vencem obstáculos, transpõem acidentes geográficos, encurtam distâncias, dão continuidade às rodovias, enfim, são obras de extrema necessidade ao deslocamento e conforto da vida humana. (SIQUEIRA, 2012 – Revista CONCRETO 66, pág. 69)

Fotografia 11: Vista panorâmica de ponte.



Fonte: Google, 2013

Fotografia 12: Vista panorâmica de ancoradouro.



Fonte: Google, 2013.

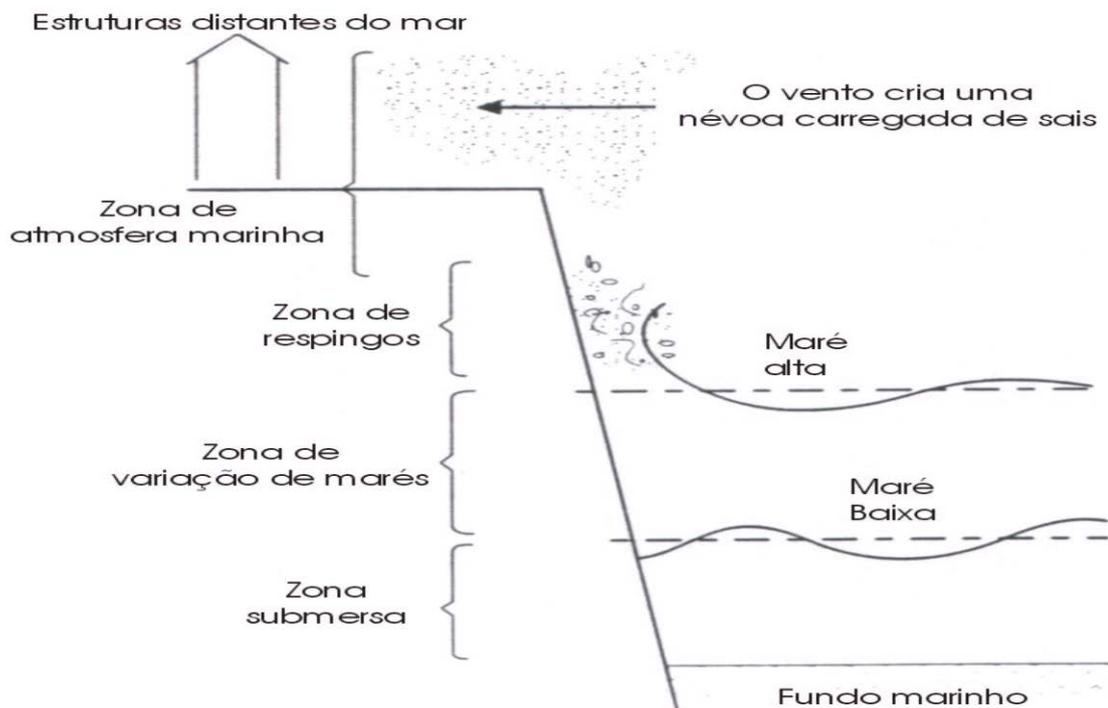
Recife, por ser uma cidade litorânea, de clima quente, umidade alta e predominância dos ventos vindos da direção do oceano Atlântico sofre, em suas estruturas de concretas agressões patológicas de todo tipo. Lima e Morelli (2004) classificaram e definiram quatro zonas de agressividade que se enquadram 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 à 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 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 (sulfato e magnésio) e pela ação de micro organismos, que em casos extremos, pode gerar a corrosão biológica das armaduras.

Figura 11: Esquema de agressividade pelos sais em ambiente marinho.



Fonte: Lima e Morelli. 2004.

### 2.3 – MASSA DE CIMENTO E ÍONS DE CLORETOS

Segundo Mota (2011), alguns países têm referências normativas de limite de teor de cloreto na confecção do concreto. O valor máximo para cloretos na massa cimento seria de 0,4% do peso do cimento. Portanto o  $Cl^-$  (cloreto), tem que ser controlada. Dosagens de cloretos acima desse nível pode corroer a armadura.

Na figura 12, se observa dados de alguns países que embora algumas normas não possuam datas, mostra-se a preocupação com os valores normatizados para a prevenção da dosagem de cloreto já no manejo do concreto fresco.

Figura 12: Tabela dos limites máximos de teor de cloretos aceitos em alguns países.

Valor crítico de cloretos em concreto armado (GENTIL, 2007).

Norma	País	Limite máximo de cloreto	Referido a
ACI -318/01	EUA	$\leq 0,15\%$ em ambiente de Cl	cimento
		$\leq 0,3\%$ em ambiente normal	
		$\leq 1\%$ em ambiente seco	
CP-110	INGLATERRA	$\leq 0,35\%$	cimento
AS 3600	AUSTRÁLIA	$\leq 0,22\%$	cimento
NS 3474	NORUEGA	$\leq 0,6\%$	cimento
EH 91	ESPANHA	$\leq 0,4\%$	cimento
EUROCÓDIGO 2	EUROPA	$\leq 0,22\%$	cimento
JSCE-SP 2	JAPÃO	$\leq 0,6 \text{ Kg/m}^3$	cimento
NBR 6118/2003	BRASIL	Não se reporta a teor cloretos	

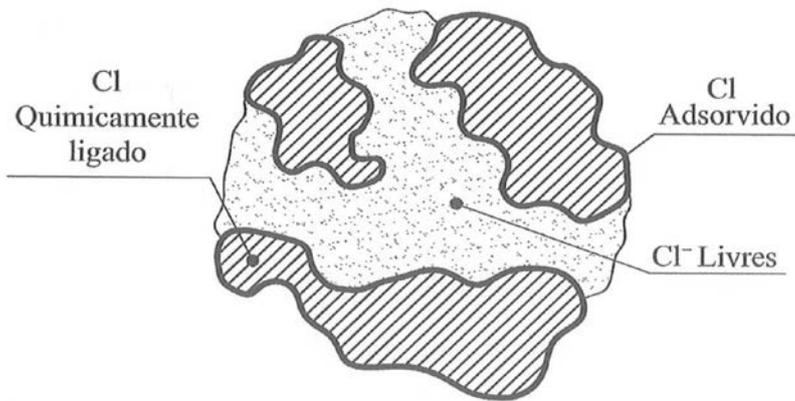
Fonte: MOTA / 2011, *apud* GENTIL / 2007.

Mota (2011) defende que os cloretos se apresentam em três formas no concreto:

- Absorvido na superfície dos poros;
- Sob a forma de íons livres;
- Quimicamente ligado ao aluminato tri cálcio , e ao ferro aluminato tetra cálcio.

Os cloretos podem ser inseridos na confecção do concreto pelo cimento, agregados, água de amassamento e aditivos. Já o concreto pronto, exposto a soluções de cloretos, reage com a massa de cimento.

Figura 13: Formas de ocorrências de íons cloreto na estrutura do concreto.



Fonte : MOTA / 2011 , *apud* CASCUDO / 1997

No Brasil, assim como no mundo , são fabricados vários tipos de cimento ,que, segundo Sousa e Ripper ( 1998 ) ,“ correspondem à maior ou menor exaltação das propriedades dos seus principais componentes e resultam no desenvolvimento de variadas características mecânicas , físicas e químicas ”. Estes, dependendo das condições especiais de exposição, atendem requisitos mínimos de durabilidade, segundo a NBR 12655 (2006).

Figura 14: Quadro Concreto X Classe de Agressividade

Concreto	Tipo	Classe de agressividade (Tabela 1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$
Consumo de cimento por metro cúbico de concreto	CA e CP	$\geq 260$	$\geq 280$	$\geq 320$	$\geq 360$
NOTA : CA Componentes e elementos estruturais de concreto armado; CP Componentes e elementos estruturais de concreto protendido.					

Fonte: ABNT NBR 12655, 2006, adaptada pela autora 2013.

De acordo, Sousa e Ripper ( 1998 ) a dosagem do cimento por vezes não é feita de maneira correta, com diminuição do consumo de cimento ,indo de encontro ao uso destinado; bem como fora das normas da A.B.N.T.

A composição química do cimento tem grande influência na penetração de cloretos ,já que o  $C_3A$  e o  $C_4AF$  se combinam com os cloretos para formar os cloro aluminatos .Esta reação diminuí o fluxo de penetração de cloretos devido a redução da concentração de íons livres na solução aquosa dos poros do concreto.(PAGE et AL,1972; apud MONTEIRO ,1996 ; pg.36)

A relação água cimento também contribuiu para a resistência do concreto. Vale salientar, que ainda que parcialmente, a "difusão dos íons de cloro, pela água que enche os poros do concreto " ,havendo assim a associação" ( SOUSA e RIPPER, 1998 ).

A relação água/cimento influencia na porosidade , na forma , no volume e na distribuição dos tamanho dos poros, controlando assim, a penetração dos íons de cloreto.Foi verificado que a velocidade de difusão de cloreto aumenta de 3 a 5 vezes com o aumento da relação água/cimento de 0,4 a 0,6(Page & Short,1981;apud Monteiro,1996;pg36)

A influência benéfica das pozolanas em relação a penetração de cloretos inclui o aumento da recessividade elétrica do concreto e a diminuição dos tamanhos dos poros. (PREECE et al,1983;apud Monteiro,1996;pg36)

Segundo Monteiro (1996), Bauer , em 1995 , constatou que "adicionando escória ao cimento , no caso de ingressos de cloretos ,tem um efeito benéfico da capacidade de fixação de cloretos para relação água / cimento abaixo de 0,5 ".Também segundo Monteiro. (1996) , vários autores defendem que a difusão dos íons de cloreto dentro do pasta de é mais influenciado pela composição do cimento e menos pela relação água/cimento.

Figura 15: Quadro requisitos para concreto, em condições especiais de exposição.

Condições de exposição	Máxima relação água/cimento, em massa, para concreto com agregado normal	Mínimo valor de $f_{ck}$ (para concreto com agregado normal ou leve) MPa
Condições em que é necessário um concreto de baixa permeabilidade à água	0,50	35
Exposição a processos de congelamentos e descongelamento em condições de umidade ou agentes químicos de degelo	0,45	40
Exposição a cloretos provenientes de agentes químicos de degelo, sais, água salgada, água do mar, ou respingos ou borrifação desses agentes	0,40	45

Fonte : NBR 12655 (2006), adaptado pela autora (2013).

### 3. MÉTODO DE MOHR

A necessidade de identificar como ocorre a penetração de cloretos em estruturas de concreto e concreto armado se faz necessária por acontecer por vezes a corrosão das armaduras. Portanto, vários métodos tem sido desenvolvidos para tal, entre eles, o método colorimétrico de aspersão 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 aspersão 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 (2010), como tipo de cimento, fator água / cimento e tipo de material utilizado (agregado miúdo e graúdo).

Esse método foi desenvolvido em 1970 pelo Dr. Mário Collepari 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 à ambientes marinhos. Esta técnica contribuí também para a determinação do processo de fixação dos cloretos livres na matriz cimentícia (JUCÁ,2002 apud MOTA,2011).

Figura 16: Tabela resumo de algumas variáveis envolvidas nas pesquisas do método colorimétrico de aspersão de nitrato de prata.

Tipo de Cimento	Tipo 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 al
	Argamassa	0,5 e				
	Concreto	0,6				
Cimento Portland comum e Cimento Portland comum Com adição	Concreto	0,4 e 0,7	1,13 a 1,4%	1999	Espanha	Andrade et al
Cimento Portland comum e Cimento Portland comum Com adição	Concreto	-	0,90%	2003	Austrália	Meck

Fonte: MOTA / 2011

Segundo BACCAN (1979) ,um dos métodos volumétricos de precipitação mais importantes são aqueles que empregam a solução padrão de Nitrato de Prata. O método de titulação de cloretos está incluso nisto.

Segundo o método de MOHR, para a determinação de cloretos, o haleto é titulado com um solução padrão de nitrato de prata usando-se cromato de potássio com indicador.(BACCAN.1979).

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  $AgNO_3$  (nitrato de prata)0,0141M até a amostra líquida obter a coloração " telha " para se fazer a titulação e se entender a combinação dos íons livres da amostra de concreto.

Fotografia 13: Ensaio com o método de MOHR.



## 4-NORMATIZAÇÃO:

A seguir será apresentada a normatização ISO TC71/SC 1(2010) com a tradução e explanação feita pela autora para entendimento da metodologia dos processos de ensaios que foram realizados.

### 4.1– ISO TC71/SC 1(2010) E ISO/WD (1920).

#### 4.1.1-Introdução

Segundo esta ISO, 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.

#### 4.1.2-Referências normativas

As referências abaixo citadas representam documentos indispensáveis para a aplicação dessa parte da ISO 1920. Quanto às referências datadas abaixo, somente a edição citada é cabível de aplicação.

EN 1920-3, *Testando o concreto — Parte 3: A confecção e a cura dos corpos de prova para o ensaio*

EN 1920-6, *Testando o concreto — Parte 6: Amostragem, preparação e ensaio de testemunhos de concreto*

EN 14629 — *Produtos e sistemas para a proteção e o reparo de estruturas de concreto – Métodos de ensaio – Determinação do teor de cloreto no concreto endurecido.*

#### 4.1.3 - Termos e definições

Os seguintes termos e definições aplicam-se aos os fins desse documento.

- Superfície conforme moldada  
superfície de um elemento de concreto exposta, na construção, a um ambiente contendo cloretos.
- Teor de cloreto:  
Quantidade de cloreto solúvel em ácido expressada em função de seu percentual por massa de concreto.
- Penetração de cloreto  
Penetração de cloretos no concreto devido à exposição a fontes externas de cloreto
- Difusão:  
Movimento de moléculas ou íons sob a influência de um gradiente de concentração, ou seja o movimento a partir de uma zona de alta concentração em direção a uma zona de baixa concentração.
- Coeficiente de difusão:  
Proporcionalidade entre o fluxo de moléculas (p.ex., taxa de fluxo de íons de cloreto) e o gradiente de concentração na equação de difusão.
- Concentração inicial de cloreto:  $C_i$   
Concentração de cloreto a uma distância afastada o suficiente da superfície, para que não tenha sido influenciada pela penetração da solução de exposição ao cloreto.
- Coeficiente de difusão em estado não contínuo  
Coeficiente de difusão que leva em conta a reação de ligação simultânea do cloreto
- Trituração do perfil:  
Processo a seco para a trituração de um corpo de prova de concreto em camadas finas sucessivas.
- Condição de saturação no vácuo :  
Corpo de prova saturado com água no vácuo

#### 4.1.4- Metodologia

Cura-se e molda-se um corpo de prova, seja cilíndrico ou em forma de cubo, de acordo com a ISO 1920-3, por um período não inferior a 28 dias.

Divide-se o corpo de prova em dois corpos de provas menores, um “corpo de prova do perfil”, que é usado para determinar o perfil de cloreto após a exposição ao ingresso unidirecional de cloreto, e um “corpo de prova do cloreto”, que é usado para

determinar o teor de cloreto inicial,  $C_i$ . Esse dado inicial é considerado como sendo o teor de cloreto do concreto moldado.

O corpo de prova do perfil é saturado com água destilada ou desmineralizada no vácuo, recoberto por todos os lados, exceto em um deles, a face não recoberta, que é exposta à solução de cloreto. A exposição é realizada seja através de imersão completa, ou expondo a face não revestida à solução de cloreto, ou invertendo-se o corpo de prova, colocando a face não revestida imersa em contato com a solução de exposição ao cloreto.

A solução de referência consiste em uma solução a 3% por massa de cloreto de sódio (NaCl), que é usada por um período de exposição de 90 dias (permite-se não só o uso de outras soluções ou diferentes concentrações, p.ex., água marinha artificial, como também períodos de exposição diferentes).

NOTA 1 O coeficiente de difusão de cloreto varia com a idade do concreto e com o período de exposição.

NOTA 2 O ensaio de difusão descrito nessas Especificações Técnicas é considerado válido somente para um dado teor inicial de cloreto constante.

NOTA 3 Deve-se relatar a verificação feita para validar dois ou mais resultados, assim com o valor médio, sempre que houver informações disponíveis sobre a precisão do ensaio.

#### 4.1.5- Reagentes e aparelhagem

##### 4.1.5.1- Reagentes

Devem ser usados reagentes de qualidade analítica.

NOTA Aqui, “percentual” significa percentual por massa, a menos que explicitamente declarado de outra forma.

- Hidróxido de cálcio,  $\text{Ca(OH)}_2$ .
- Solução de exposição ao cloreto
- Solução de referência

Dissolva 30g de NaCl de qualidade analítica em 970g de água destilada ou desmineralizada, para preparar uma solução de NaCl a 3% por massa. Armazene a solução num recipiente limpo.

NOTA 4 Essa solução de NaCl terá uma concentração de cloreto semelhante à da água do mar do oceano atlântico.

NOTA 5 Já se utilizou água marinha natural e artificial na análise da exposição de estruturas de construção civil. Foram empregadas concentrações mais elevadas de NaCl, como 16,5 %, bem como períodos de exposição mais breves (p.ex. 35 dias) para acelerar o desenvolvimento do perfil do cloreto.

4.1.5.2-Tinta à base de dois compostos de poliuretano ou epóxi, impermeável à difusão iônica, ou outro sistema de barreira equivalente

4.5.1.3- Agentes químicos para a análise de cloretos que atendam a EN 14629.

4.1.5.4- Água destilada ou desmineralizada.

4.1.6- Aparelhagem

- Serra de diamante resfriada a água
- Balança para pesar NaCl e água, com precisão de pesagem de  0,1g.
- Termômetro, com precisão de  $\pm 1$  °C.
- Câmara com temperatura controlada, com capacidade de manter a temperatura estável em (20  2) °C.
- Recipiente de polietileno com tampa hermética, para a imersão do corpo de prova do perfil. O volume da solução de exposição deve exceder o volume do corpo de prova e permitir que se tenha mais de um corpo de prova contido em um único recipiente.
- Tanque para o corpo de prova do perfil.
- Equipamento para triturar e coletar pó de concreto em camadas de 1 mm ou de profundidade maior, com capacidade de triturar uma área de superfície de pelo menos 40 cm<sup>2</sup>, e que possibilite evitar triturar numa faixa de 10 mm a partir da borda da área de ensaio.

- Aparelho de ar comprimido ou soprador de ar, para limpar o pó do corpo de prova e do equipamento, entre as triturações das camadas.
- Bolsas para a coleta de pó
- Equipamento para verificar o teor de cloreto, que atenda a EN 14629.
- Paquímetro, com precisão de  $\pm 0,1$  mm.
- Recipiente para vácuo, com capacidade para no mínimo três corpos de provas.
- Bomba de vácuo, com capacidade de atingir e manter uma pressão absoluta inferior a 50 mbar (5 kPa) no recipiente, p.ex., uma bomba de jato de água.

#### 4.1.7-Preparação dos corpos de provas

##### 4.1.7.1-Dividindo os corpos de provas

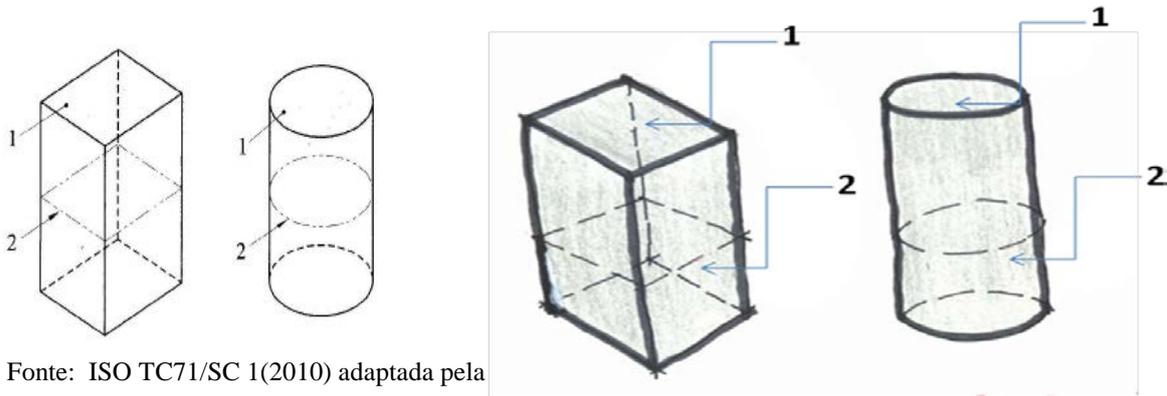
Deve-se selecionar um corpo de prova de dimensões mínimas tais que - após o corte - resulte em corpos de provas, que serão utilizados para determinar o perfil de cloreto, que tenham dimensões pelo menos três vezes maiores do que o tamanho nominal máximo do agregado. Devem-se preparar pelo menos dois corpos de provas, sejam cilíndricos, de 100 mm de diâmetro ou mais, ou cubos, de 100 mm de aresta ou mais, que serão moldados e curados em banho com água à temperatura de, sendo que o período de cura não pode ser inferior a 28 dias.

Depois de transcorridos pelo menos 28 dias de cura padronizada, corta-se cada cilindro ou cubo em dois corpos de prova menores usando a serra de diamante resfriada a água. Os corpos de prova cilíndricos devem ser cortados em sentido paralelo à superfície plana, e os cubos devem ser cortados na direção paralela à superfície do topo (onde se usou a espátula), conforme mostrado na Figura 17.

As dimensões do corpo de prova que será usado para determinar o perfil de cloreto não podem ser menores do que três vezes o tamanho nominal máximo do agregado.

Um dos corpos de prova será denominado de “corpo de prova do perfil” e será usado para determinar o perfil de cloreto, e o outro corpo de prova, o "corpo de prova do cloreto inicial" será usado para determinar o teor de cloreto inicial (não colocado na solução) .

Figura 17: Preparação do corpo de prova



Fonte: ISO TC71/SC 1(2010) adaptada pela  
Autora, 2013

#### 4.1.7.2-Condicionamento e preparo do corpo de prova do perfil para o ensaio com o cloreto

- Saturação do corpo de prova do perfil no vácuo

Após cortar os corpos de provas com a serra, sature os corpos de prova do perfil, com água, no vácuo.

- Impermeabilização das superfícies que não serão expostas

Inicie o procedimento de impermeabilização dentro do período 24 h que se segue ao término da saturação no vácuo. Todas as superfícies do corpo de prova do perfil, exceto a superfície que foi cortada com a serra, devem ser impermeabilizadas. Após ter impermeabilizado as superfícies, insira os corpos de prova na solução saturada de hidróxido de cálcio por no mínimo 18h.

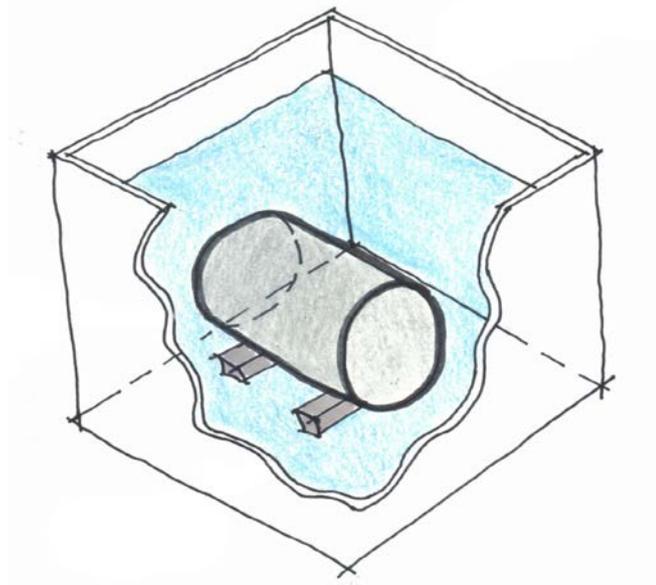
NOTA 6 – O objetivo por trás da impermeabilização das faces, excetuando-se a face a ser exposta à solução de cloreto, é o de assegurar que o ingresso de íons de cloreto para o interior do concreto se dê através de processo de difusão puramente unidirecional.

#### 4.1.7.3- Corpo de prova do perfil para imersão

Após a permanência na solução de hidróxido de cálcio, o corpo de prova deve ser transferido diretamente à exposição, sem que a superfície venha a secar. A Figura abaixo mostra um arranjo apropriado para esse fim. Recipiente contendo solução de cloreto com

volume no mínimo igual ou maior que 12,5 mililitros por centímetro quadrado de superfície exposta (azul), superfície impermeabilizada (cinza), superfície exposta (branca).

Figura 18: Exemplo de um corpo de prova imerso com superfícies impermeabilizadas

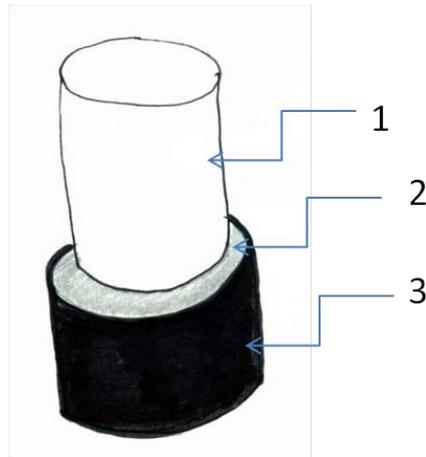


Fonte – ISO,2010, desenhada pela autora /2013.

#### 4.1.7.4- Corpo de prova do perfil para o uso tanques (luvas).

Após a permanência na solução saturada de hidróxido de cálcio, coloca-se o tanque sobre a superfície do corpo de prova, vedando-o de maneira a evitar o vazamento da solução clorada de exposição. A Figura 6 mostra um arranjo adequado para esse fim. A borda externa entre o tubo de plástico e o corpo de prova deve ser impermeabilizada para evitar vazamentos. O diâmetro do tubo usado para confeccionar o tanque pode variar numa faixa de 10 a 20 mm menor do que o diâmetro do corpo de prova, o que aumentará o grau de impermeabilização. A superfície que não for coberta pelo tanque deverá ser completamente impermeabilizada com selador ou fita.

Figura 19: Exemplo de um corpo de prova com um tanque impermeabilizado sobre a superfície.



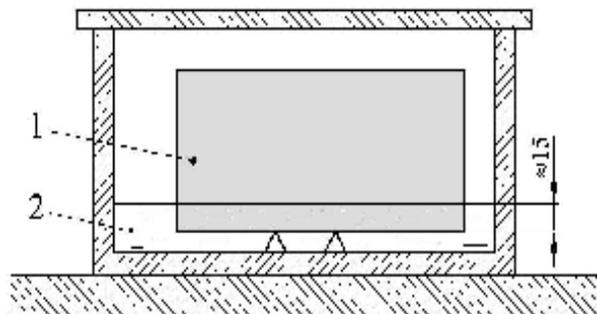
Fonte: ISO, 2010; desenhada pela autora, 2013.

Legenda : 1 tanque, 2 impermeabilização, 3 corpo de prova do perfil.

#### 4.1.7.5- Corpo de prova do perfil para a inversão

Após o procedimento de impermeabilização, e a permanência na solução de hidróxido de cálcio tiverem sido realizados, o corpo de prova deve ser transferido diretamente para o dispositivo de exposição por inversão antes que a superfície venha a secar. A Figura 7 mostra um arranjo adequado para esse fim. O volume da solução de exposição deve ser no mínimo igual ou maior do que 12,5 ml por centímetro quadrado de superfície exposta.

Figura 20: Exemplo de um corpo de prova invertido e dispositivo de exposição



Fonte - ISO,2010; adaptada pela autora, 2013.

Legenda:

- 1 - impermeabilizante aplicado sobre o corpo de prova
- 2 - solução de NaCl ( cloreto de sódio)

#### 4.1.8 - Procedimento

##### 4.1.8.1 Condições de exposição

Solução de exposição ao cloreto

A menos que especificado ao contrário, a solução de exposição ao cloreto deve apresentar uma concentração de 3% de NaCl. A concentração da solução de exposição ao cloreto deve ser medida e registrada após o uso.

NOTA 7 - A concentração da solução de exposição ao cloreto diminuirá durante o transcorrer do ensaio. O volume da solução de exposição ao cloreto foi escolhida de forma a não precisar ser substituída durante o curso de um ensaio que contemple 90 dias. Caso seja necessário um período de ensaio mais extenso, a solução de exposição ao cloreto deve ser substituída a cada 91 dias.

##### 4.1.8.2 Método de exposição

Aspectos gerais

As superfícies expostas (cortadas com a serra) dos corpos de prova do perfil devem permanecer em contato direto com a solução de exposição ao cloreto, seja por imersão, tanque, ou inversão. A idade do corpo de prova, quando de sua primeira exposição à solução de cloreto, deve ser registrada e relatada.

Imersão

Os corpos de prova do perfil devem ser imersos dentro do recipiente com a solução de exposição ao cloreto e o recipiente deve estar completamente preenchido com a solução e perfeitamente impermeabilizado. Esse recipiente impermeabilizado deverá ser imerso no banho com água.

Inversão

Vira-se de cabeça para baixo o corpo de prova, que é então colocado com a superfície de exposição imersa na solução de exposição ao cloreto. O corpo de prova deve ser

fixado de maneira tal a garantir que toda a superfície a ser exposta esteja e permaneça em contato com a solução, p. ex., apoiado por uma malha aberta. A câmara deve ser impermeabilizada para evitar a evaporação da solução.

Período de exposição

O período de referência de exposição ao cloreto é de 90 dias, podendo mudar de acordo com o objetivo do ensaio.

Determinação do teor inicial de cloreto ( $C_i$ )

Trituração para o perfil

Retire o corpo de prova com o teor inicial de cloreto da bolsa plástica. Triture e descarte aproximadamente 1 mm da camada superficial da face do corpo de prova com o teor de cloreto inicial, que foi cortada com a serra. Ainda em cima da mesma superfície, proceda a trituração até obter uma amostra de 20g de pó, para realizar a análise do teor de cloreto. Trituração para o perfil

Transcorridos 90 dias e dentro de um espaço de tempo de até 8h após a remoção do corpo de prova da solução de exposição, deve-se triturar a seco no mínimo oito camadas paralelas do corpo de prova do perfil, de forma que cada camada forneça uma amostra de no mínimo 5g de concreto seco, sendo que a camada mais externa também deve ter uma espessura mínima de 1,0 mm. A espessura das camadas deve ser ajustada conforme o perfil de cloreto esperado, de maneira que um mínimo de seis pontos cubra o perfil entre a superfície exposta e uma profundidade onde o teor de cloreto esteja acima do teor de cloreto inicial. O quadro 5 fornece os intervalos de profundidade recomendados para o concreto com cimento Portland.

Figura 21: Quadro de intervalos de profundidade recomendados (milímetros) de trituração de perfis para o concreto à base de cimento Portland .

<b>Traço</b>
<b>0,30 0,35 0,40 0,50 0,60 0,70</b>
<b>Camada 1 0~1 0~1 0~1 0~1 0~1 0~1</b>
<b>Camada 2 1~2 1~2 1~3 1~3 1~3 1~5</b>
<b>Camada 3 2~3 2~3 3~5 3~5 3~6 5~10</b>
<b>Camada 4 3~4 3~5 5~7 5~8 6~10 10~15</b>
<b>Camada 5 4~6 5~7 7~10 8~12 10~15 15~20</b>
<b>Camada 6 6~8 7~9 10~13 12~16 15~20 20~25</b>
<b>Camada 7 8~10 9~12 13~16 16~20 20~25 25~30</b>
<b>Camada 8 10~12 12~16 16~20 20~25 25~30 30~35</b>

Fonte - ISO, 2010, desenhada pela autora ,2013.

Os corpos de prova de concreto devem ser triturados a seco, e a trituração deve ser realizada sobre uma área superficial de no mínimo 40 cm<sup>2</sup> demarcada a partir de um contorno de 10 mm para dentro da zona de contato, para evitar efeitos de borda e perturbações devidas ao revestimento impermeabilizante.

- O corpo de prova do perfil deve ser fixado firmemente em paralelo ao triturador e uma bolsa para a coleta de pó, que pode ser de plástico, deve estar fixada em posição adequada para a coleta. Cada camada deve fornecer pelo menos 5g de pó. Após a trituração de cada camada, limpe o equipamento e a superfície do corpo de prova do perfil com ar comprimido ou um soprador de ar, eliminando o pó residual, antes de medir a profundidade da camada. A profundidade da camada é calculada como sendo a média de cinco medidas uniformemente distribuídas usando a régua do paquímetro. Coleta-se o pó de concreto de cada camada em bolsas de plástico com identificação, para a análise da concentração de cloreto. As bolsas deverão estar claramente identificadas com a referência do corpo de prova, intervalo de profundidade e data.
- O procedimento de regressão e a expressão dos resultados  
A segunda camada a partir da superfície representa o primeiro ponto a ser usado na análise de regressão.  
Determine a profundidade a partir da qual o teor de cloreto atinge pela primeira vez um valor entre  $C_i$  e  $C_i + 0,015 \%$ . Este será último ponto a ser usado na análise de regressão e é denominado de "ponto zero".

NOTA 8 - Os resultados desse ensaio podem ser expressados de diversas maneiras, p.ex., como um parâmetro de penetração ou a profundidade até alcançar o teor de cloreto crítico.

Laudo do ensaio

O laudo do ensaio deve incluir:

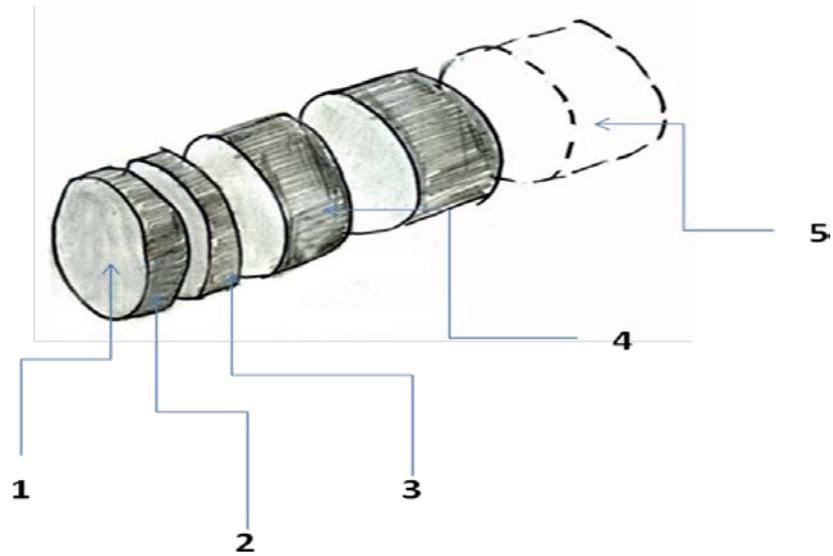
- o Identificação dos corpos de prova do ensaio;
- ✓ Descrição do corpo de prova incluindo sua idade ao início do ensaio, quando conhecida;
- ✓ Data e início do ensaio;
- ✓ Duração do ensaio;
- ✓ Solução de exposição ao cloreto, se diferente da solução a 3% de NaCl;
- ✓ Método de exposição (por imersão, tanque ou inversão);
- ✓ Temperatura média, máxima e mínima da solução de exposição ao cloreto;
- ✓ Teor inicial de cloreto,  $C_i$ , % de concreto ou concreto não imerso;
- ✓ Qualquer desvio do método de ensaio padrão;
- ✓ Mensurações individuais de cloretos e as respectivas profundidades a elas associadas;

Corpo de prova de ensaio

A idade do concreto da estrutura da qual os corpos de prova serão obtidos não deve ter menos de 28 dias de maturidade, sendo que um dia de maturidade equivale ao tempo necessário para desenvolver a maturidade correspondente à cura em água por um dia, a 20°C. A idade, assim como qualquer informação sobre a cura do elemento deve ser registrada e relatada.

A coleta de amostra(s) deve ser conduzida de acordo com o estabelecido na ISO 1920- Se o propósito do ensaio for o de ser representativo do desempenho de durabilidade de uma estrutura existente, é importante que o concreto ensaiado seja proveniente da zona de revestimento, que corresponde ao concreto que recobre a armadura de aço. Sabe-se que os 10 mm externos de uma amostra apresenta concentrações mais altas de pasta de cimento, são cortados fora e descartados, ao passo o ensaio é conduzido com a superfície cortada 10 mm a partir da superfície da estrutura, para assegurar-se de que o corpo de prova ainda esteja livre de qualquer gradiente de cloreto.

Figura 22 - Corpo de prova e corpos de prova menores de uma amostra



Legenda:

1 superfície como moldada

2 descartar 10 mm externos

3 para o perfil de cloreto

4 20 mm para determinar o teor inicial de cloreto

5 núcleo interior

Fonte - ISO, 2010, desenhada pela autora, 2013.

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo experimental teve como finalidade determinar o quantitativo de cloretos em paralelo com a profundidade da penetração de cloretos em corpos de prova de resistências: pobre, média e rica. Os ensaios que foram feitos, na primeira fase foram realizados no Laboratório de Materiais, da Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP), onde se confeccionou os corpos de prova e, usaram-se ensaios com a parcial imersão em água do mar e como referência dos processos as ISO TC 71/SC 1(2010), ISO/WD (1920). Já a segunda fase foi desenvolvida no Laboratório de Química, também da UNICAP onde foi utilizado o método de MOHR .

### 5.1 - PROGRAMA DE ENSAIO

O estudo consiste em duas fases, ensaiadas de acordo com o seguinte roteiro:

Foram moldados nove corpos de prova cilíndricos (10 x 20 cm) de concreto para três traços diferentes, sendo três com traço pobre, três com traço médio, e três com traço rico. Após desmoldados todos os corpos-de-prova foram submetidos a cura úmida por 14 dias. Seis foram retirados (dois de cada traço) para serem ensaiados com a água do mar e três (um de cada traço) permaneceram na cura úmida até 28 dias para poder manter um padrão sobre todos.

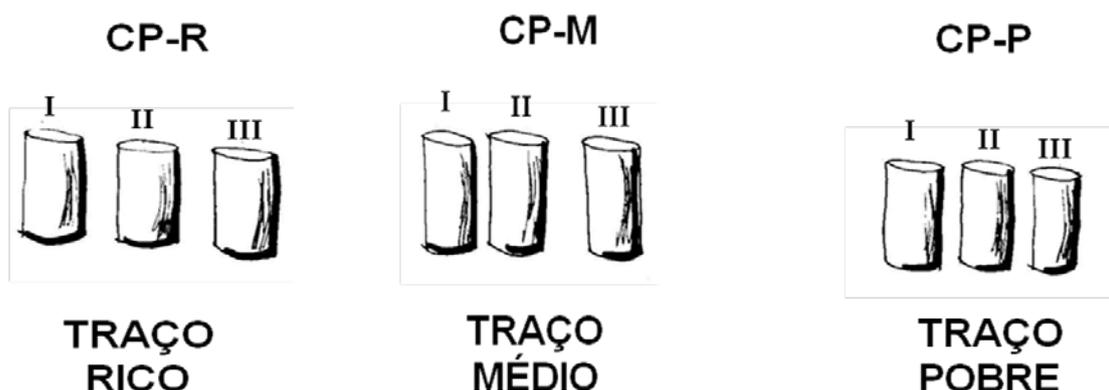
Os outros seis corpos de prova retirados antes, foram divididos ao meio de sua altura, retificando-se as extremidades e permaneceram em ambiente seco por mais 14 dias; sendo que no intervalo ao completar 21 dias todos os corpos de prova, no total de doze, foram divididos ao meio, e portanto resultando no tamanho de 10 x 10 cm. Estes foram impermeabilizados com pintura epox em toda sua volta, deixando só as extremidades originais e retificadas. Com 28 dias de idade foram submergidos em água potável, ficando lá até os 35 dias onde foram retirados e colocados parcialmente emergidos em água do mar , com um dos topos sobre fina cama de brita , por mais 7dias .Aos 42 dias se retirou da água do mar. Após esse procedimento se retirou os corpos de prova e se deixou secar por 24 horas em ambiente natural e identificand0-se cada um dos corpos de prova pelo tipo de traço e pela divisão feita ao meio de cada original. Em seguida perfurou-se na profundidade de 1 ,2 ,3 cm (com brocas de 14,10,8 mm respectivamente), partindo do maior para o menor furo .De cada um dos doze corpos de provas de traços pobre, médio e rico, separou-se o pó, pela profundidade do furo, também identificando por traço e perfuração.

Portanto foram perfurados e recolhidas amostras de dois corpos de prova divididos ao meio tornando-se quatro amostras dos três diferentes traços parcialmente imersos em água do mar e de dos três corpos de prova de traços rico, médio e pobre, que não haviam sido parcialmente submersos na água do mar. Após esses procedimentos, as amostras foram levadas ao laboratório de química para ensaios da penetração de íons cloretos, três ensaios para cada amostra, utilizando como referência o método de MOHR; titulando com Nitrato de Prata.

#### 5.1.1- LABORATÓRIO DE MATERIAIS:

Foram confeccionados no laboratório de materiais da UNICAP nove (09) corpos de prova cilíndricos, com dimensões de 10 x 20 cm, onde três (03) com traço Rico (R), três (03) com traço Médio (M) e três (03) com traço Pobre (P). Destes, mostrados na próxima figura, dois (I e II) de cada traço, seis no total, foram divididos ao meio e tornaram-se quatro corpos de prova de cada traço para parcial imersão em água do mar. Um de cada traço (III), no total de três permaneceram na sua forma original, aferidos quanto à resistência, mas não foram imersos em água do mar, apesar de também ensaiados.

Figura 23: Corpos de prova confeccionados para os ensaios.



#### 5.1.1.1 - PROCEDIMENTOS

##### 5.1.1.1.1- Caracterização dos materiais utilizados

- Cimento: O cimento utilizado na pesquisa foi o CP II-F-32, nomeado segundo a ABNT de Cimento Portland composto com filler, NBR 11578(1991).

- Areia grossa: O agregado miúdo utilizada nesta pesquisa é natural de leito de rio, proveniente da cidade de Pombos, Pernambuco. A areia é ensaiada no laboratório de materiais seguindo as normas de caracterização e distribuição granulométrica de acordo com a NBR 7217 (1992).
- Brita: O agregado graúdo utilizado foi uma pedra britada, de dimensão 25 mm, graduação 1 de acordo com a NBR 7211 (1982).
- Água potável: A água utilizada na composição da amostra de concreto é 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 (oceano atlântico sul, com salinidade média de 3,2 % NaCl).

#### 5.1.1.1.2 Equipamentos utilizados

- Betoneira;
- Vibrador de imersão;
- Balança;
- Colher de pedreiro;
- Concha;
- Baldes;
- Proveta (Dosador de água);
- Cone (slump);
- Régua;
- Carrinho de mão;
- Moldes cilíndricos metálicos 10x20cm para os corpos-de-prova;
- Esmerilhadora;
- Tanque de imersão;
- Furadeira de impacto e furadeira fixa;
- Brocas para concreto com bitolas de 8, 10 e 14 mm ;
- Recipiente translúcido com tampa;
- Tinta impermeabilizante spray.

### 5.1.1.1.3 - Moldagens dos corpos de prova cilíndricos (10 x 20 cm)

A areia, brita e cimento, foram selecionados e pesados separadamente, até a obtenção do quantitativo necessário para execução de cada traço em massa, como foi apresentado no Quadro 6. Essas etapas foram seguidas para a moldagem: cálculo do traço unitário, pesagem do material, colocação e mistura do material na betoneira, ensaio de abatimento, e moldagem dos corpos de prova.

✓ A moldagem seguiu a especificação para os diferentes traços (pobre, médio e rico):

Cálculo do traço unitário.

Pesagem do material.

Colocação e mistura do material na betoneira.

Ensaio de abatimento.

Figura 24: traços

Tipo	Traço	slump	água	cimento	areia	brita
<b>POBRE</b>	<b>1:3</b>	<b>160±20</b>	<b>0,52</b>	<b>1</b>	<b>1,60</b>	<b>1,40</b>
<b>MÉDIO</b>	<b>1:2</b>	<b>160±20</b>	<b>0,37</b>	<b>1</b>	<b>0,95</b>	<b>1,05</b>
<b>RICO</b>	<b>1:1</b>	<b>160±20</b>	<b>0,26</b>	<b>1</b>	<b>0,30</b>	<b>0,70</b>

Fotografia 14: Ensaio de abatimento



Fotografia 15: Moldagem dos corpos de provas.



Após confeccionados, depois que o concreto endureceu, os corpos de prova foram desformados, identificados, datados e colocados para cura úmida em tanque com água potável no laboratório. Como já havia sido dito, três por 28 dias, estes que foram ensaiados quanto a resistência, mas sem imersão em água do mar e seis por 14 dias para os que estiveram parcialmente imersos em água do mar. Optou-se por um menor tempo de imersão para esse últimos do que o referenciado na ISO, porque ao final do ensaio fizeram-se perfurações nos corpos de prova e não fatiou-se e triturou-se, bem como, utilizou-se para a parcial imersão água do próprio oceano e não solução produzida em laboratório. Nos ensaios para registrar as resistências à compressão média dos corpos-de-prova dos três tipos de concreto, ensaiados do mesmo lote os resultados foram; 26,67 Mpa (Concreto Pobre), 32,33 Mpa (Concreto Médio), e 40,87 Mpa (Concreto Rico).

Fotografia 16: Cura úmida em laboratório



Fonte: Arquivo pessoal, 2011

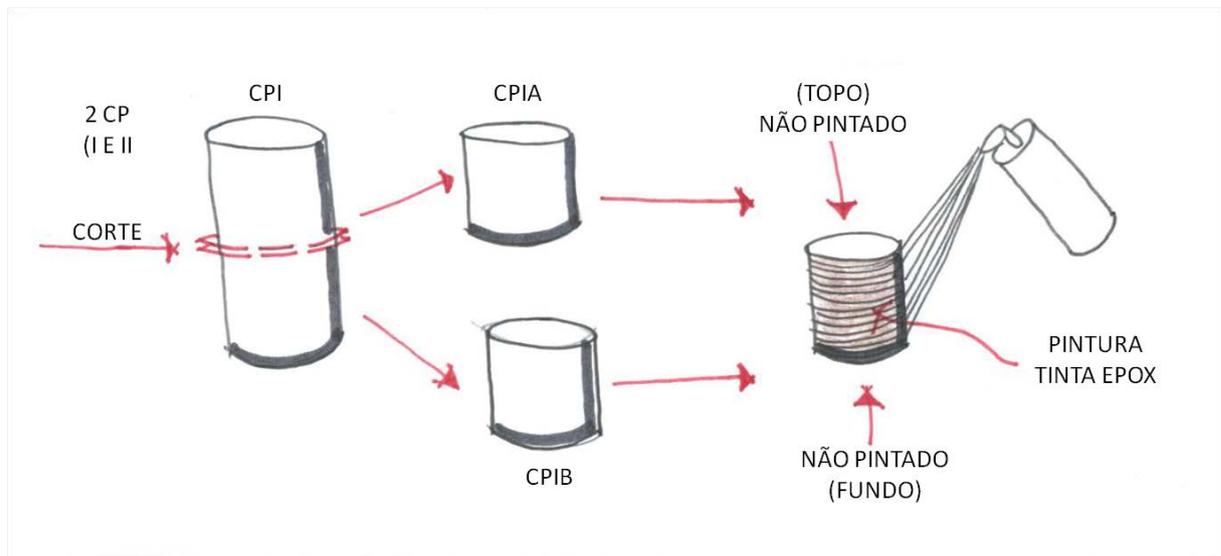
Figura 25: Quadro das resistências a compressão média

TRAÇO	RESISTÊNCIA MÉDIA ( Mpa )
<b>POBRE</b>	<b>26,67</b>
<b>MÉDIO</b>	<b>32,33</b>
<b>RICO</b>	<b>40,87</b>

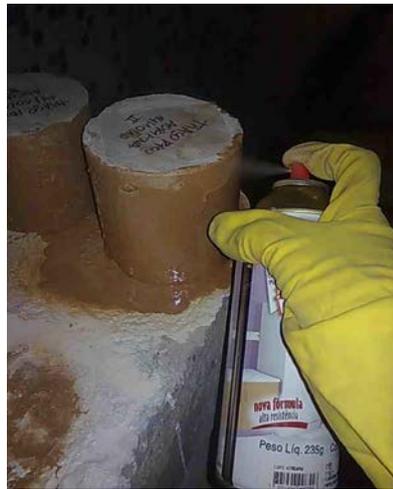
Foram separados seis corpos de prova confeccionados para o ensaio de parcial imersão. Dois de cada traço: Pobre, Médio e Rico (P, M, R). Após a cura por 14 dias, foram retirados do tanque, retificados as extremidades (topos) e permaneceram em ambiente natural por mais 14 dias. Neste intervalo ao completar 21 dias, foram divididos ao meio e transformados em quatro por traço. Esses corpos de prova ficaram com dimensões de 10 x 10 cm, e totalizando doze amostras que foram nomeados e pintados com tinta Epox spray ao seu redor, para impermeabilizá-los, só deixando as extremidades retificadas ao natural. Com 28 dias foram submergidos em água potável, até os 35 dias.

Após os 35 dias, e os procedimentos mostrados já realizados, foram colocados todos os corpos de prova (10 x 10 cm) cortados, pitados e catalogados; parcialmente submersos, ou seja, na metade de sua altura em água do mar. Permaneceram dentro da água por 7 dias e aos 42 dias foram retirados .

Figura 26: Processo de cortar nomear e pintar os corpos de prova.



Fotografias 17,18, 19 e 20: Processo de cortar nomear e pintar os corpos de prova.



A água do mar foi coletada na praia de Boa Viagem, pela autora e levada ao laboratório para ser realizado o ensaio. Esta foi escolhida por já conter grande quantidade de íons cloreto, e posteriormente ensaiada para definição do quantitativo.

Fotografias 21, 22 e 23: Ensaio com a água do mar



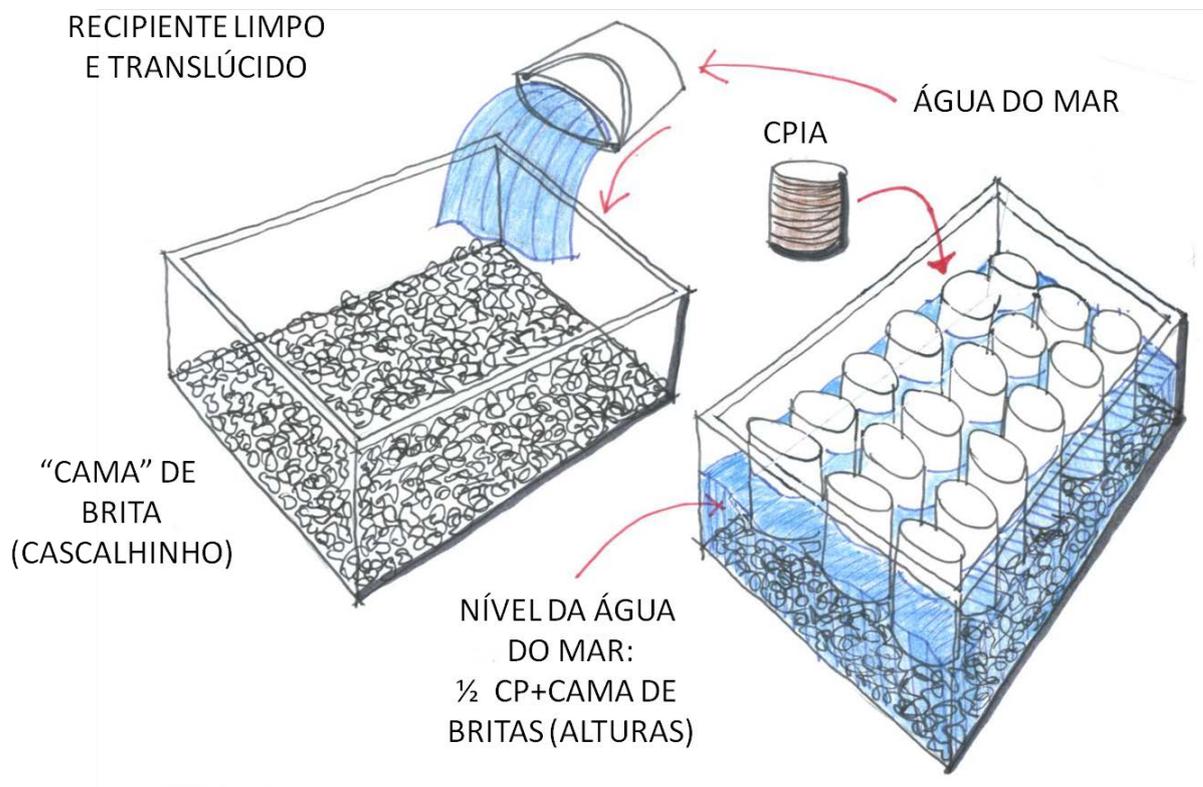
Os copos de prova foram acomodados em recipiente translúcido e sobre uma “cama” de brita (cascalhinho), para não estarem em contato direto com o fundo deste e com água do mar cobrindo  $\frac{1}{2}$  (metade) das suas alturas. Todos foram colocados com uma das extremidades retificadas e não impermeabilizadas em contato direto com a água do mar.

Fotografias 23, 25: Ensaios com a água do mar (fotos)



O recipiente com os corpos de prova ficou tampado, lacrado, identificado e acomodado no laboratório de materiais para que o manejo só fosse da autora e não houvesse interferência do meio.

Figura 27: Ensaio com a água do mar (desenho esquemático).



Após o ensaio de imersão em água do mar por sete dias, permaneceram em ambiente de laboratório por no mínimo 24hs, antes de serem perfuradas e coletadas as amostras.

Os furos, três em cada corpo de prova, foram feitos na extremidade que esteve em contato com a água do mar. Foram perfurados do maior para o menor furo e com profundidades de 1, 2, e 3 centímetros nesta ordem. Para realizar os furos 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.

Fotografias 26, 27: Ferramentas e perfuração dos corpos de prova



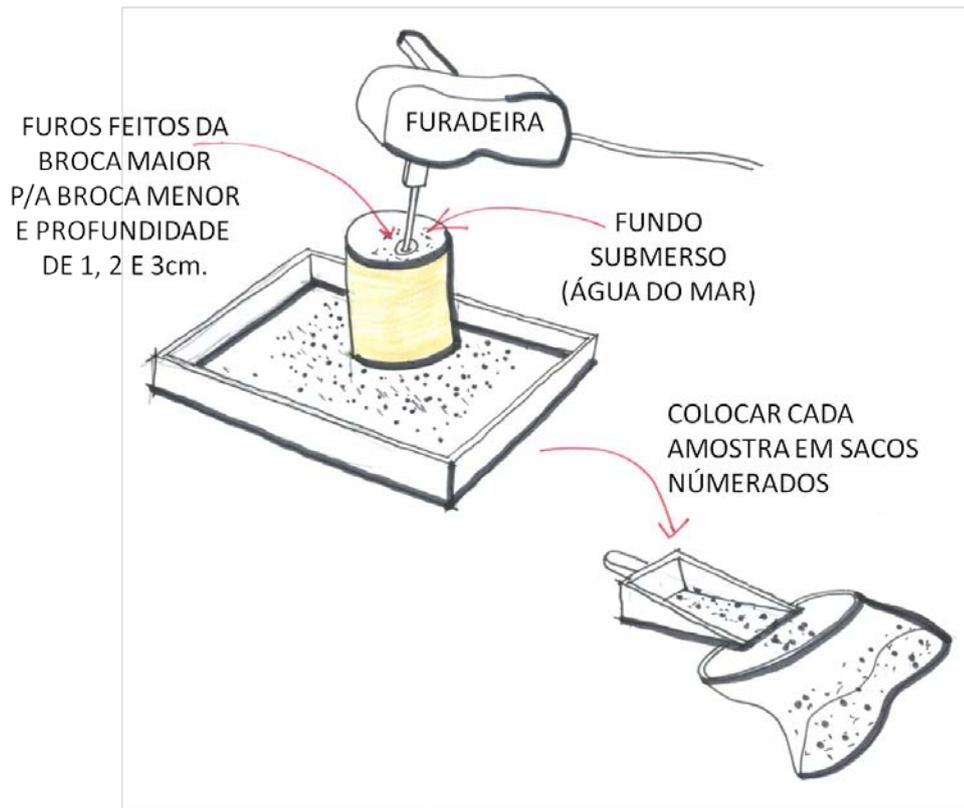
Fotografias 28 e 29: Ensaio de perfuração com furadeira fixa.



Fotografias 30 e 31 : Ensaio de perfuração com furadeira manual.



Figura 28: Ensaio de perfuração e ensacamento das amostras



Como pode-se observar na Figura que mostra o ensaio de perfuração, a mesma foi feita em ordem decrescente de abertura (diâmetro do furo), de modo que nos foi possível retirar com maior facilidade e totalmente o pó de cada amostra.

Além da perfuração dos corpos de prova que foram parcialmente submersos, também foram perfurados os corpos de prova não submersos e permaneceram com o mesmo tamanho desde a moldagem (20 x 20 cm), para que se tivesse uma análise comparativa posteriormente da quantidade de cloretos iniciais. A perfuração nestes também teve os mesmos critérios da outra: 1, 2, 3 centímetros de profundidade e brocas para concreto 14, 10, 8; e recolhimento numeração e nomeação das amostras em sacos individuais.

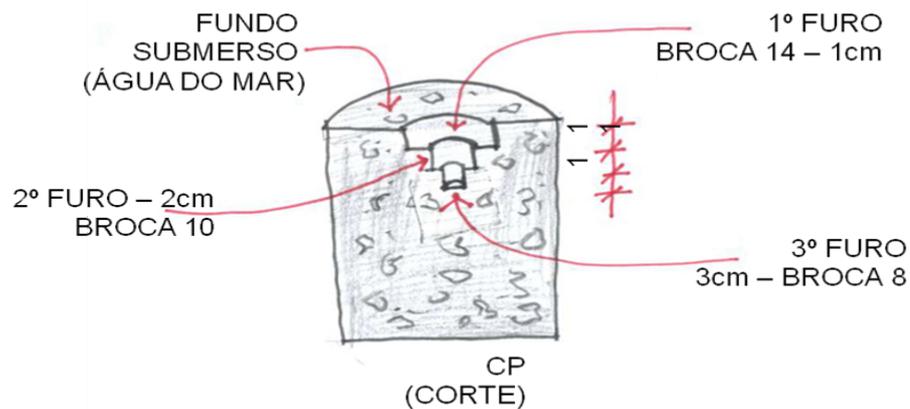
Fotografia 32: Corpos de prova perfurados



Fotografia 33: Amostras



Figura 29: Ensaio de perfuração



E interessante informar que para fazer a perfuração dos corpos de prova de traços pobre e médio foi usada a furadeira de impacto manual. Já para os de traço rico foi usada uma furadeira fixa e com alavanca, pela dificuldade encontrada no manuseio para tal.

Fotografia 34: Conjunto dos corpos de prova perfurados, parcialmente submersos (10 x 10 cm) e não imersos (20 x 20 cm)



#### 5.1.2-- LABORATÓRIO DE QUÍMICA

A segunda parte do nosso trabalho foi realizado no laboratório de química da Universidade Católica de Pernambuco, com a orientação do professor Sérgio Paiva. O intuito dos ensaios era 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 .

##### 5.1.2.1-Material utilizado:

- Balança analítica;
- Bécker;
- Pipeta; Bureta
- Erlenmeyer;
- Espátula;
- Balão volumétrico de 250 ml, com tampa;
- Vidro de relógio;

FOTOGRAFIA 35: Utensílios usados nos ensaios



## 5.1.2.2- Água e soluções:

- Água destilada.
- Solução de  $\text{AgNO}_3$  (nitrato de prata) 0,0141M
- Solução de  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  a 5% (cromato de potássio)

## 5.1.2.3 Etapas realizadas

Catalogadas as 45 amostra, 36 dos corpos de prova parcialmente imersos e 9 dos não imersos, seguiram-se os ensaios.

Figura 30: Quadro do número de amostras para ensaio de penetração de cloretos

Tipo	Traço	CP`s (10 x 10 cm)	CP`s (10x20 cm)	furos (3 p/ CP )
<b>POBRE</b>	<b>1:3</b>	<b>04</b>		<b>12</b>
<b>MÉDIO</b>	<b>1:2</b>	<b>04</b>		<b>12</b>
<b>RICO</b>	<b>1:1</b>	<b>04</b>		<b>12</b>
<b>S/IMERSÃO (3 TRAÇOS)</b>	<b>-</b>		<b>03</b>	<b>09</b>
<b>TOTAIS</b>		<b>12</b>	<b>03</b>	<b>45</b>
				<b>AMOSTRAS</b>

Em primeiro lugar foram colocados em bécker parte das 45 amostras, coletadas (uma por uma) para pesar em torno de 0,5 gramas em balança digital, registrando esse valor. Após isso colocou-se para cada amostra (pó da perfuração) de um corpo de prova, partes A e B (as duas partes de 10 x10 cm ) em três erlenmeyers, e portanto, numerando-se de 1 a 18 adicionando-se, com uma pipeta 50 ml de água destilada(sem sais), agitando-se para misturar.

Fotografia 36: Amostras .



Fotografia 37: Balança digital.



Depois esse “pó “ pesado foi diluído com água destilada em balão volumétrico de duzentos e cinquenta mililitros. 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.

Figura 38: Pó da amostra

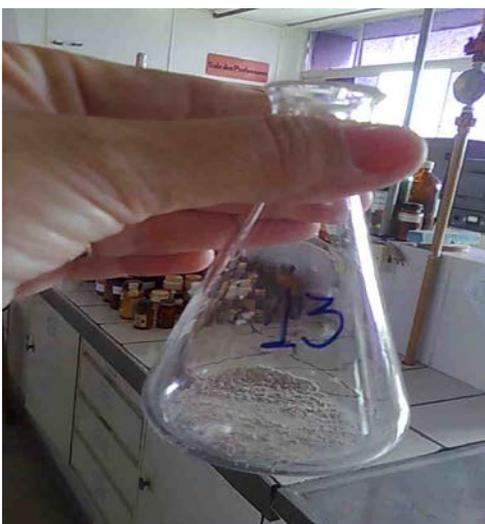
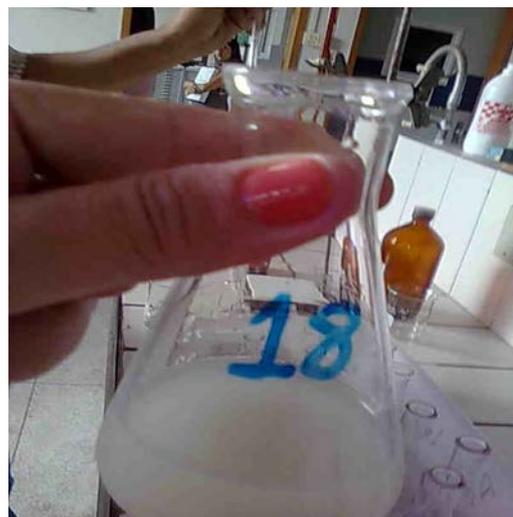


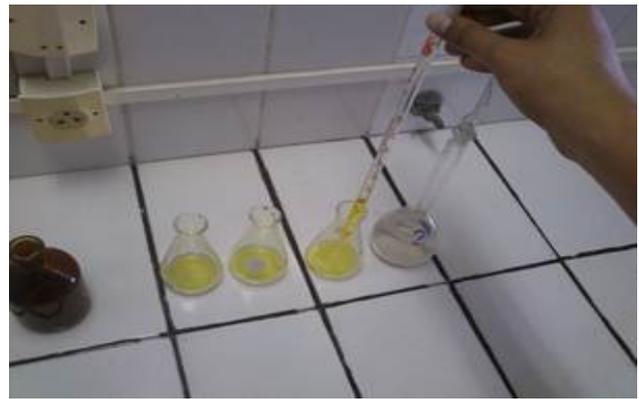
Figura 39: Pó da amostra diluído



Destes 250 ml, foram retirados e colocados em Elemayers 3 amostras com 10 ml cada. Em cada destas amostras se colocou 1 ml de cromato de potássio ( $K_2CrO_4$  (5%)) que

funcionou como indicador, deixando uma coloração amarela. Após isto, cada amostra recebe gotas de nitrato de prata ( $\text{AgNO}_3$  – 0,0141 mol/l) 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.

Fotografia 40 e 41 : Colocação e coloração do Indicador - cromato de potássio  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  a 5%.



Fotografia 42: Ensaio com nitrato de prata.

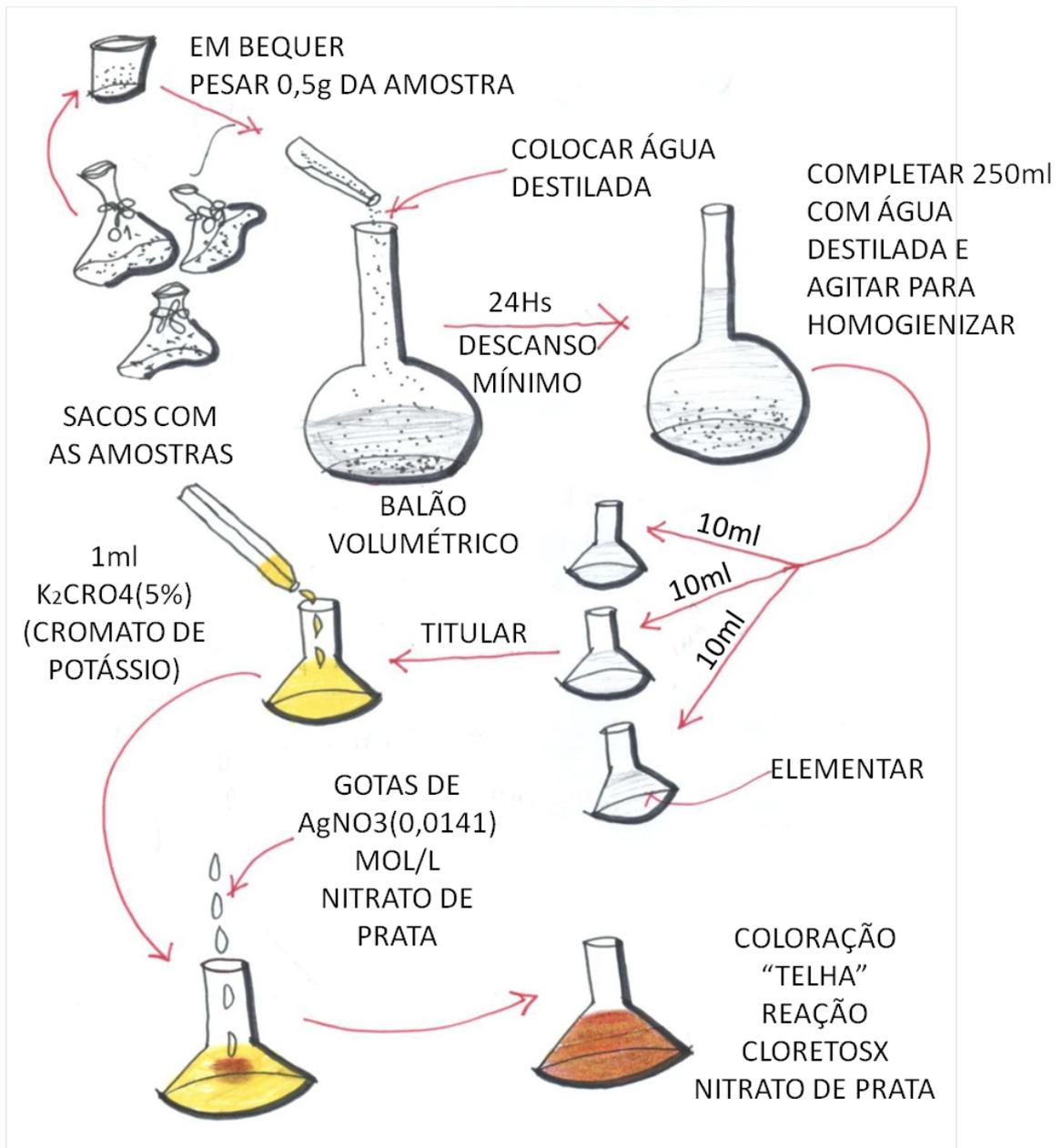
Fotografia 43: Elementos dos ensaios .



Os resultados são colocados individualmente por traço em planilhas e, se calculou 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) .

Fica interessante compreender pelo desenho esquemático da Figura 31 a seguir.

Figura 31: Esquema dos ensaios realizados no laboratório de química (desenhos esquemáticos).



Também foi ensaiada a água do mar utilizada, para determinação da porcentagem da salinidade, cloretos de sódio ( $NaCl$ ), bem como a quantidade de íons de cloreto em gramas por litro. O processo de ensaio foi o mesmo adotado para as amostras com a utilização do método de Mohr. Começou-se colocando 1 ml de água do mar em elemayer e, diluindo com mais 5 ml de água destilada. Após isso se colocou 1 ml do indicador (cromato de potássio) e titulou-se com o nitrato de prata. Ao final repetiu-se o processo para confirmação do resultado.

## 6. RESULTADOS E DISCURSÕES

Neste capítulo foram apresentados os resultados e as análises dos ensaios desenvolvidos pela titulação com nitrato de prata utilizando o método de MOHR. Em primeiro lugar foi apresentada a tabela com os pesos, as identificações das amostras, os volumes consumidos de  $\text{AgNO}_3$  (nitrato de prata), por amostra do diferentes traços (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.

Também para facilitar a análise dos resultados, os resultados dos ensaios são apresentados em relação à massa de cimento por meio de gráfico.

Os quadros a seguir, 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 feito a média aritmética destas.

Figura 32: Quadro dos resultados dos ensaios realizados no laboratório de química – Amostras de corpos de prova de traço pobre com imersão na água do mar .

	TIPO DE TRAÇO	PROF. (cm)	AMOSTRA N°	PESO (g)	AgNO3 (ml) (Consumido)				CLORETO (%Cl <sup>-</sup> ) relação massa cimento
					1ª Tit.	2ª Tit.	3ª Tit.	Média	
<b>TRAÇO POBRE - TP</b>									
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 1C	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

Observa-se que quanto mais funda a perfuração menor a absorção de cloretos, mesmo tratando-se do traço pobre, onde se identificou ser o traço mais vulnerável aos íons de cloretos solúveis por ter sua constituição do concreto mais poroso.

Figura 33:Quadro dos resultados dos ensaios realizados no laboratório de química – Amostras de corpos de prova traço médio com imersão na água do mar

CP	TIPO DE TRAÇO	PROF. (cm)	AMOSTRA N°	PESO (g)	AgNO3 (ml) (Consumido)				CLORETO (%Cl <sup>-</sup> ) relação massa cimento
					1ª Tit.	2ª Tit.	3ª Tit.	Média	
<b>TRAÇO MÉDIO - TM</b>									
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

Constatou-se também que houve maior diferença quanto aos resultados com relação a que qua perfuração menor a absorção de cloretos, mesmo tratando-se do traço pobre, onde identificou-se ser o traço mais vulnerável aos íons de cloretos solúveis por ter sua constituição do concreto mais poroso.

Figura 34: Quadro dos resultados dos ensaios realizados no laboratório de química –. Amostras de corpos de prova traço rico com imersão na água do mar .

CP	TIPO DE TRAÇO	PROF. (cm)	AMOSTRA N°	PESO (g)	AgNO3 (ml) (Consumido)				CLORETO (%Cl <sup>-</sup> ) relação massa cimento
					1ª Tit.	2ª Tit.	3ª Tit.	Média	
<b>TRAÇO RICO - TR</b>									
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

De acordo com os quadros apresentados pode-se constatar que:

Quanto mais próximo das extremidades dos corpos de prova, mais teor de cloretos são observados nas amostras. Em relação aos traços, o rico se destaca tendo o menor quantitativo com já se era previsto em relação com o médio e o pobre.

Figura 35: Quadro dos resultados dos ensaios realizados no laboratório químico – Amostras de corpos de prova traço rico, médio e pobre sem imersão na água do mar .

TIPO DE TRAÇO	PROF. (cm)	AMOSTRA N°	PESO (g)	AgNO <sub>3</sub> (ml) (Consumido)				%Cl <sup>-</sup> relação massa concreto	%Cl <sup>-</sup> relação massa cimento
				1ª Tit.	2ª Tit.	3ª Tit.	Média		
<b>S/IMER.</b>									
CP VII	1	37	0,50	0,40	0,30	0,40	0,37	0,0033	0,0156
	2	38	0,50	0,30	0,30	0,40	0,33	0,0029	0,0136
	3	39	0,54	0,40	0,30	0,40	0,37	0,0033	0,0156
<b>S/IMER.</b>									
CP VIII	1	40	0,55	0,40	0,50	0,30	0,40	0,0037	0,0129
	2	41	0,54	0,40	0,40	0,50	0,43	0,0042	0,0143
	3	42	0,56	0,40	0,50	0,40	0,43	0,0042	0,0143
<b>S/IMER.</b>									
CP IX	1	43	0,52	0,30	0,30	0,40	0,33	0,0029	0,0066
	2	44	0,53	0,40	0,40	0,40	0,40	0,0037	0,0085
	3	45	0,54	0,40	0,40	0,40	0,40	0,0037	0,0085

Para o cálculo do percentual de cloreto absorvido pelas amostras, foi utilizada a equação abaixo:

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

Onde:

- V1 = volume da solução de AgNO<sub>3</sub> gasto para titular a amostra, em ml
- V2 = volume da solução de AgNO<sub>3</sub> gasto para titular o branco, em ml
- m = concentração molar da solução de AgNO<sub>3</sub>
- mm = massa molar de Cl
- V amostra = 0,10 ml
- Fator de diluição = 1000/250 = 4

Após a aplicação de fórmula foi encontrado o percentual de cloretos em relação à massa de concreto.

A massa de cimento, que será 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/m<sup>3</sup> de concreto, o traço médio 685 Kg/m<sup>3</sup> e o traço rico 1035 Kg/M<sup>3</sup> e uma massa específica do concreto de 2.350 Kg/m<sup>3</sup>, possibilitou a obtenção do percentual de cloreto na massa de cimento, também apresentado nos quadros demonstrativos dos ensaios.

Com todos os percentuais encontrados, foi tirada uma média aritmética dando origem ao quadro abaixo, figura 36:

Figura 36: Quadro do resumo relação massa cimento

<b>QUADRO RESUMO % RELAÇÃO MASSA CIMENTO</b>			
	<b>PROFUNDIDADE</b>		
<b>TRAÇO</b>	<b>1cm</b>	<b>2cm</b>	<b>3cm</b>
POBRE	0,0273	0,0214	0,0209
MÉDIO	0,0254	0,0182	0,0147
RICO	0,0151	0,0109	0,0106
POBRE S/I	0,0156	0,0136	0,0156
MÉDIO S/I	0,0129	0,0143	0,0143
RICO S/I	0,0066	0,0085	0,0085

OBS.: S/I – SEM IMERSÃO EM ÁGUA DO MAR.

De acordo com os quadros, foram criados as figuras 37, 38, e 39 onde foram analisados a relação do consumo de cloretos com relação a profundidade de retirada das amostras e, portanto concluído o estudo de casos.

Observou-se que o percentual de penetração de íons cloreto é menor para o traço rico, em relação ao traço médio e o pobre em todas as profundidades estudadas.

A maior concentração de cloretos para todo o traço diminui a medida que a profundidade da retirada da amostra foi maior. Portanto, em zonas de agressividade ambiental se faz necessário maior cobrimento.

Figura 37: Traço pobre cloretos x profundidade.

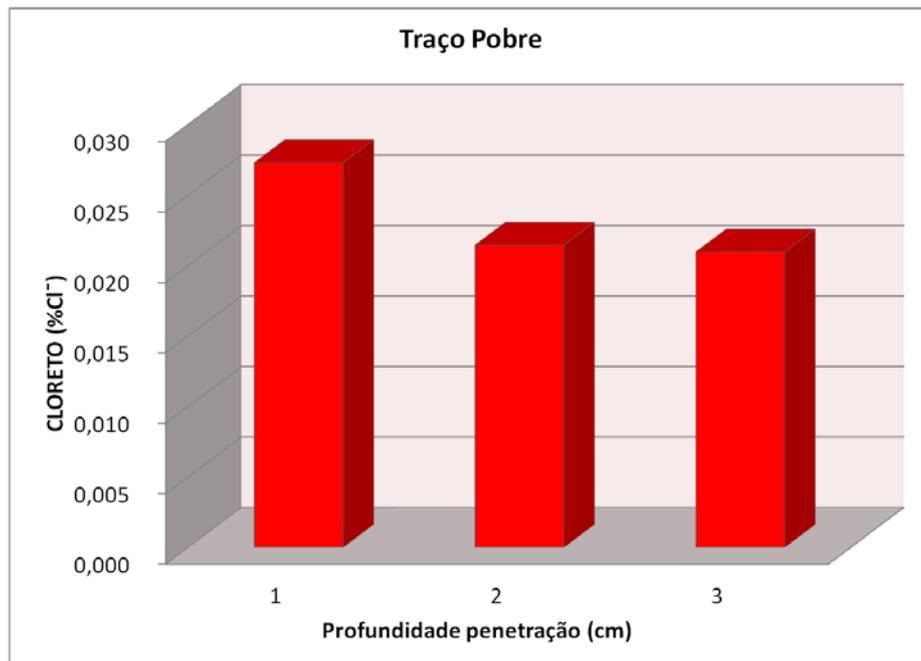
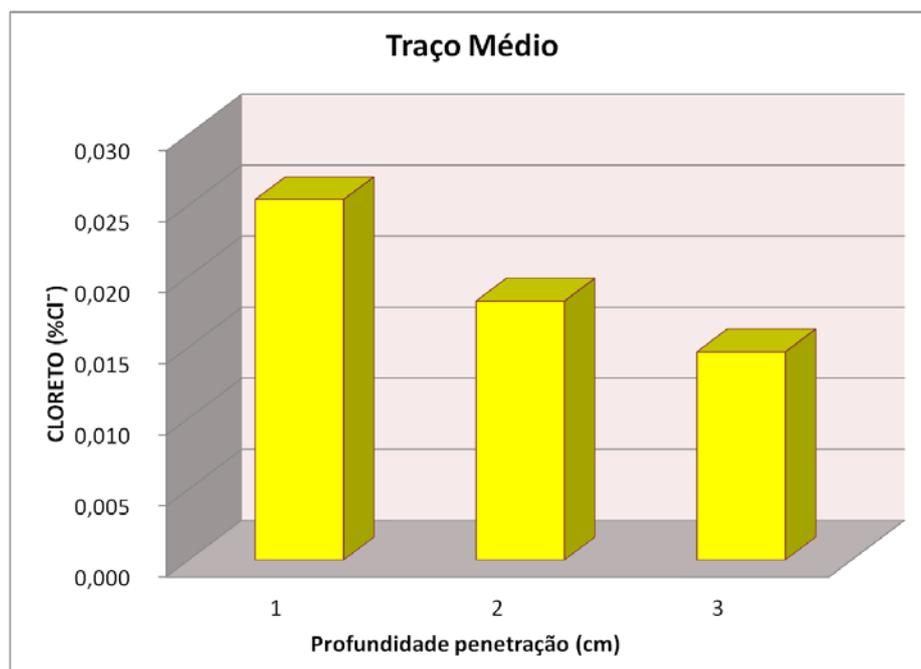


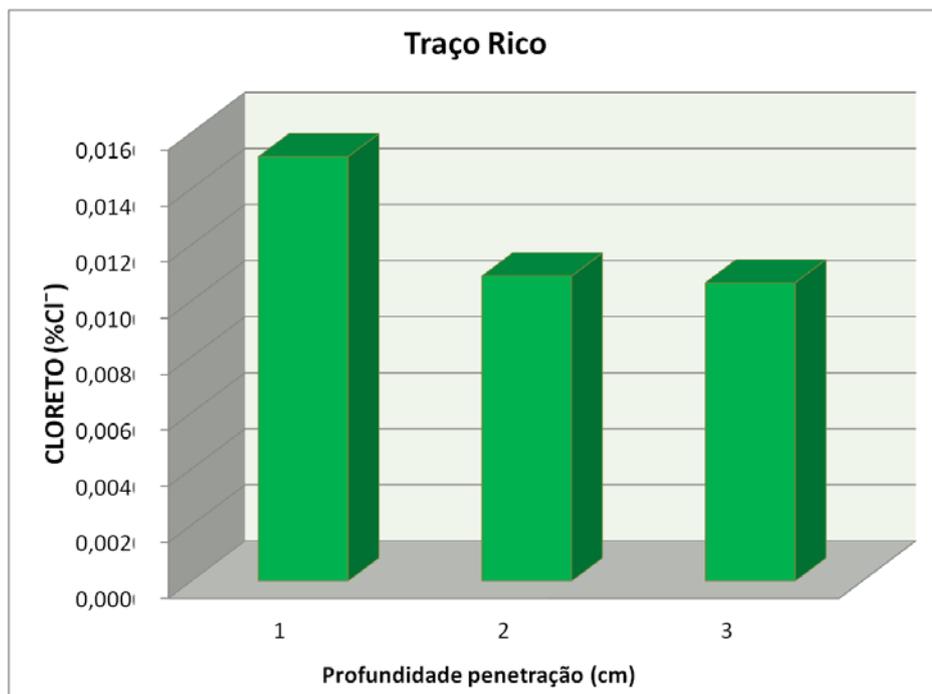
Figura 38: Traço médio cloretos x profundidade .



A cor utilizada nos gráficos, já define a atenção que se deve ter com o uso, o grau agressividade e o local das estruturas de concreto. portanto foi usado o verde para o traço rico, o amarelo para traço médio e o vermelho para o traço pobre; fazendo analogia aos sinais de transito. O traço pobre absorveu mais íon cloreto do que o traço médio, e o traço médio mais que o rico; em todas profundidades (1cm, 2 cm e 3 cm), como era esperado.

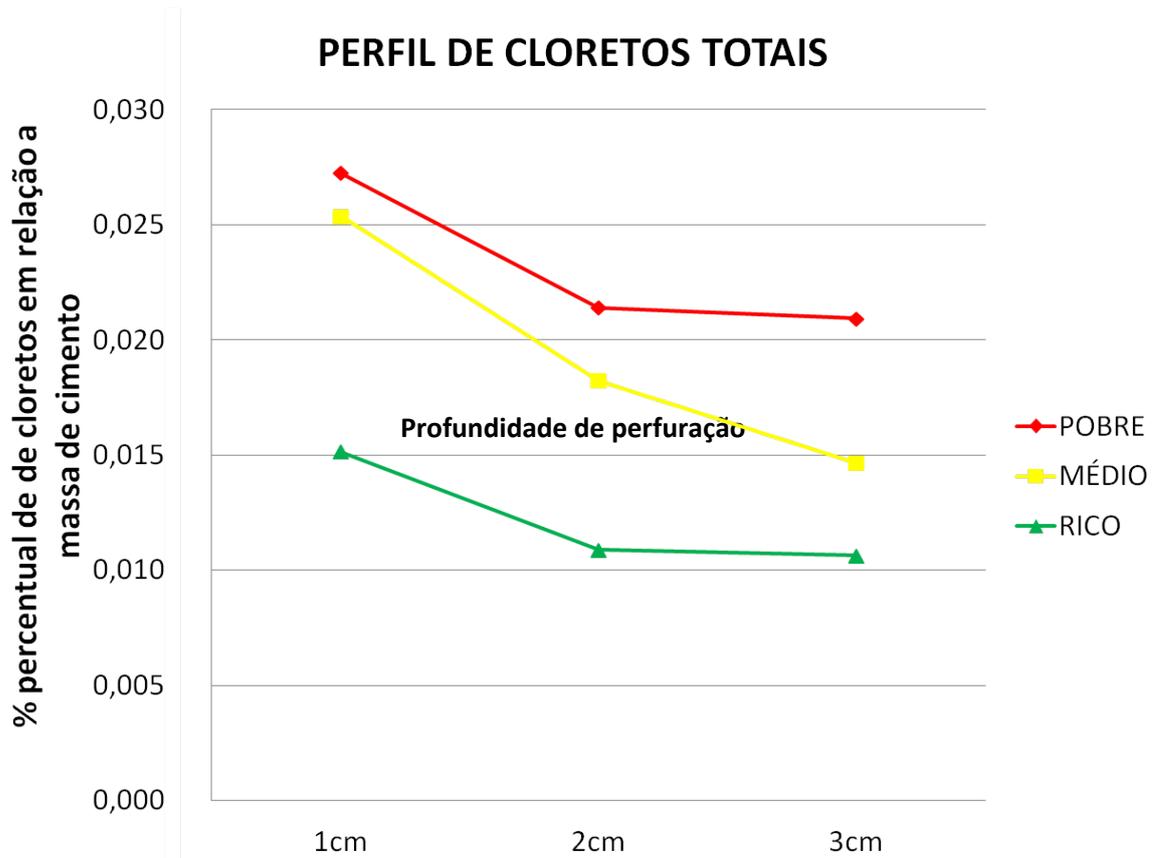
As amostras, dos corpos de prova que não estavam parcialmente imersos em água do mar, apresentaram um percentual não significativo de íons cloreto em todos os traços.

Figura 39 Traço rico - cloretos x profundidade .



A figura 40 mostra um perfil total de todos os traços e relação entre percentual de cloretos e profundidade de perfuração realizada.

Figura 40: Gráfico 6 Perfil de cloretos totais



A água do mar utilizada na pesquisa, proveniente da praia de Boa Viagem, no Recife, também foi ensaiada para definição da salinidade e o seu teor de cloretos. Para tal utilizou-se duas amostras de 1 ml cada e titulou-se através também do método de mohr, e através da equação abaixo e a regra de três obteve-se os percentuais.

$$\text{mg/l Cl}^- = \frac{V_{\text{AgNO}_3} \times M \times \text{mm} \times 1000}{V_{\text{amostra}}} = 19,521 \text{ gr/l}$$

Onde,

$V_{\text{amostra}} = 1 \text{ ml}$  (volume da amostra igual a um mililitro)

$V_{\text{AgNO}_3} = 39 \text{ ml}$  (volume de nitrato de prata gasto igual a 39 mililitros)

$M = 0,0141 \text{ mol/l}$  (molaridade - mol por litro)

$m_m$  = massa molar do  $Cl^-$  (íon de cloreto) – 35,5 g

**NaCl** (cloreto de sódio).....**Cl<sup>-</sup>** (cloreto)

58,5 gr.....35,5

X .....19,52 gr

**NaCl** (salinidade) = 3,2166 gr/100 ml ou 3,2 ‰

Figura 41: Quadro do ensaios da água do para determinação do teor de cloretos

ÁGUA DO MAR UTILIZADA							
<u>nº</u>	<u>AMOSTRA</u>	<u>VOLUME</u>	<u>1ªtitul.</u>	<u>2ªtitul.</u>	<u>média</u>	<u>g/L Cl<sup>-</sup></u>	<u>% NaCl</u>
46	<u>líquida</u>	<u>1ml(cada)</u>	39 ml	39 ml	39 ml	19,52	3,20

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do estudo realizado obteve-se resultados da profundidade de penetração de cloretos para traços: rico, médio e pobre; e portanto isto poderia 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 à serem usados, especificação do tipo de cimento, dosagem do concreto que seja utilizado em atividades com contato parcial com a água do mar, na região metropolitana do Recife ou em outra cidade com atmosfera marinha.

Baseada nos resultados experimentais desta pesquisa, foram observados as seguintes tendências:

- ✓ Os resultados nos mostraram que a penetração de cloreto é menor em corpos de prova de concretos parcialmente imersos em água do mar seguindo esta ordem decrescente de contaminação:

**TRAÇO RICO < TRAÇO MÉDIO < TRAÇO POBRE**

- ✓ Em todos os traços que foram parcialmente imersos, quanto menor a profundidade de perfuração a penetração de cloretos foi percentualmente maior, ou seja, no furo feito a 1 cm nas amostras foram encontrados mais íons de cloreto do que no a 2 cm e mais do que no a 3 cm.
- ✓ Os corpos de prova não imersos em água do mar apresentaram presença de percentual médio de 50% menos de cloretos do que os parcialmente imersos em água do mar.
- ✓ Acredita-se 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.
- ✓ Também a partir dos ensaios realizados pode-se concluir que a dosagem do concreto influencia a resistência a penetração de íons de cloreto, isto quer dizer que utilizar tecnologia para fazer concreto adequado, significa aumentar a sua durabilidade.

Foi muito gratificante também, a experiência da multidisciplinaridade realizada para a conclusão dos estudos visto que, houve ensaios em laboratórios de materiais e de química, para obtenção e conclusão dos resultados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BACCAN, Nivaldo ... (et al.) . Química analítica quantitativa elementar. 1997. Editora Edgard Blucher , São Paulo -SP.

BAUER , Elton ; CASTRO , Eliane. Estudo do movimentação dos íons de cloreto no concreto – influencia na corrosão das armaduras; Universidade de Brasília; 1996.

HELENE, Paulo ; MEDEIROS, Marcelo ; Concreto Armado X Ambiente Marinho: porque proteger e o que considera para especificar? ; artigo da revista Concreto, 2008.

ISO TC 71/SC 1 ; ISO/WD 1020 – M ; 26/07/2010

MEIRA , Gibson Rocha ; Agressividade por cloretos em zona de atmosfera marinha frente ao problema da corrosão em estrutura de concreto armado ; 2004; Tese submetida à Universidade Federal de Santa Catarina , 2004.

MONTEIRO, Eliana Cristina Barreto. Estudo da capacidade de proteção de alguns tipos de cimento nacionais .em relação à corrosão de armaduras sob ação conjunta de CO<sub>2</sub> e ÍONS de cloreto ; Dissertação de mestrado em estruturas, Universidade de Brasília, 1996.

MOTA , Ana Carmelita Menezes ; 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 ; 2011.

Periódicos ; Revista Concreto ; 66 ; abril/junho ; 2012.

Periódicos ; Revista Construir NE ; 62 ; abril/maio , 2012.

GIBSON ROCHA MEIRA (1); IVO JOSÉ PADARATZ (2); M<sup>a</sup> CRUZ ALONSO (3); M<sup>a</sup> CARMEN ANDRADE(3); JOSÉ CARLOS BORBA JÚNIOR (4). Penetração de Cloretos em Estruturas de Concreto Armado em Zona de Atmosfera Marinha no Nordeste Brasileiro. 46<sup>o</sup> IBRACON. Florianópolis. 2004. VI 1079-1089.

.ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 14643 – Corrosão atmosférica - Classificação de corrosividade de atmosferas. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 6211 – Determinação de cloretos na atmosfera pelo método da vela úmida – Método de ensaio. Rio de Janeiro.

ISO TC 71/SC 1 de 26/07/2010 , ISO/WD 1920-11 , ISO TC 71/SC 1/WG SII NBR-9779