Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

AVALIAÇÃO DA PENETRAÇÃO DE ÍONS CLORETO EM TRAÇOS DE CONCRETO DE ACORDO COM ESPECIFICAÇÃO DA ABNT NBR 6118

C.Z RISSARDI
Acadêmico de Engenharia Civil
UNISINOS- itt Performance
Rio Grande do Sul, Brasil
cristyanczr@gmail.com

C.F.N. de SOUZA
Laboratorista- Durabilidade
UNISINOS- itt Performance
Rio Grande do Sul, Brasil
cnatus@unisinos.br

F.PACHECO
Eng Civil, Mestranda
UNISINOS- itt Performance
Rio Grande do Sul, Brasil
fernandapache@unisinos.br

R. CHRIST
MsC Eng Civil, Professor
UNISINOS- itt Performance
Rio Grande do Sul, Brasil
rchrist@unisinos.br

L.F. SILVEIRA
Acadêmico de Eng Mecânica
UNISINOS- itt Fuse
Rio Grande do Sul, Brasil
luizbasto@unisinos.br

RESUMO

Um dos fatores de maior relevância na perda da durabilidade de estruturas de concreto é a corrosão das armaduras. Este fenômeno não ocorre devido à proteção que o concreto oferece à armadura, física e quimicamente. Destacam-se entre os agentes agressivos ao concreto armado os íons cloretos. A reprodução deste fenômeno em laboratório é dificultada pelo tempo de ocorrência real. Assim, são realizados ensaios que aceleram o processo de migração dos ions, simulando como este ataque se daria em uma situação real. O ensaio de "Salt Spray" preescrito pela norma ASTM B117 é um desses ensaios, sendo muito difundido para análise de materiais metálicos porém raro para análise em concretos. Deste modo propõe-se, neste artigo avaliar o comportamento de penetração de íons cloreto nos 4 traços de concreto especificados pela ABNT NBR 6118, analisando a geometria do ataque de íons cloretos em amostras prismáticas submetidos à névoa salina em câmara, através do rompimento longitudinal desses corpos de prova, posterior aspersão de solução de nitrato de prata e análise das imagens com auxílio dos softwares AutoCAD e Arc Map 10.3. Contou-se com dois grupos de análise: amostras com proteção nas extremidades e amostras sem proteção, possuindo dois distintos tamanhos. Nos corpos de prova sem proteção pode-se observar o efeito combinado do ingresso de ions cloretos pelas extremidades e pelos lados das amostras, influenciando na penetração máxima atingida. Observou-se um aumento de até duas vezes na penetração máxima analisada através do rompimento longitudinal das amostras se comparado com a análise realizada através do rompimento transversal em quatro alturas, devido ao perfil heterogêneo apresentado.
Palavras-chave: ions cloretos, corrosão, ensaios acelerados, durabilidade.

ABSTRACT

One of the factors that affect the durability of concrete structures is the corrosion in reinforcement steel. This phenomenon does not occur because of the physical and chemical protection that the concrete offers. Among the factors that cause the degradation of reinforced concrete, the ingress of chloride ions in the concrete stands out. The reproduction of this phenomenon in laboratory is difficult because of its time of occurrence. Therefore, researchers created tests that accelerate the ingress of the ions inside the concrete in order to simulate how this process will occur in real situations. The Salt Spray test, showed by the ASTM B117 standard, is one of these tests, which has been widely utilized in the analysis of metal materials, but it is rare in concrete. Thus, this paper is intended to evaluate the behavior of the chloride ions attack on the four concrete mixes showed by the ABNT NBR 6118. The samples are prismatic and the ions attack geometry was observed through the longitudinal rupture of the samples, silver nitrate aspersion and image analysis using the softwares, AutoCAD and Arc Map 10.3. In this study samples with and without protection in its ends and two different sizes were utilized. In the without protection samples the combined effect of the ingress by the end and the sides of the samples was observed , influencing the maximum penetrations of the chloride ions. The maximum penetrations increased to twice in the analysis by longitudinal rupture, compared to the analysis by the transversal rupture in four heights, because of the heterogeneous profile showed in the samples.
Keywords: chloride attack, corrosion, accelerate tests, durability.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

1. INTRODUÇÃO

Em função da degradação precoce das estruturas de concreto armado, novas necessidades competitivas e exigências de sustentabilidade do setor da Construção Civil a durabilidade e consequente extensão da vida útil das estruturas vem ganhando força e atenção dos pesquisadores. Atualmente, com o advento da ABNT NBR 15575:2013[1] o cumprimento dessas exigências mostrou-se ainda mais importante. A durabilidade passa a ser exigida como um requisito de sustentabilidade, dada a expressiva geração de resíduos de construção e demolição, o impacto das construções e sua degradação.

Luping *et. al* [2] comentam que em paises desenvolvidos mais de 50% do dinheiro investido em projetos de infraestrutura são designados à restauração de estruturas que sofrem com a sua deterioração precoce., que ocorre de diversas maneiras, variando de acordo com o uso da construção e seu ambiente de inserção. Destaca-se nesse universo a deterioração causada pela presença de ions cloretos.

Ao observar-se a norma brasileira de dimensionamento de estruturas de concretos, denota-se a atenção especial que há para os concretos expostos à névoa salina e ambiente marinho. Para tais locais, faz-se maior exigência de resistência à compressão, consumo de cimento e relação água/cimento (ABNT NBR 6118 e ABNT NBR 12655)[3,4].

Tutti (1982) [5] propôs um modelo simplificado para a corrosão das armaduras, onde o processo de deterioração ocorre em duas fases diferentes: iniciação e propagação. Na primeira fase, de iniciação, os agentes agressores penetram no concreto de cobrimento até alcançar a armadura, causando a despassivação da mesma. Na segunda fase, de propagação, a corrosão realmente instala-se, provocando a degradação do concreto armado. Verifica-se nesta fase a redução das barras e sua concomitante expansão. A redução provoca perda de capacidade portante, enquanto a expansão causa pressões internas e fissuração.A penetração de agentes agressores se dá principalmente por poros de ar aprisionado, oriundos de processos incorretos de adensamento do concreto, poros de ar incorporado obtidos pelo emprego de aditivos incorporadores de ar e através de poros capilares originados pela evaporação da água livre presente no concreto [6]. Possan (2010) [7] afirma que penetração de agentes agressivos depende da permeabilidade e da porosidade do concreto. Estes, por sua vez, dependem, essencialmente de 3 fatores: qualidade do concreto, espessura do cobrimento e a cura.

O transporte de ions cloretos no interior do concreto é um processo complicado e envolve a difusão dos ions, sucção capilar, fluxo convectivo acompanhado por interações físicas e químicas. Além desses fatores outros mecanismos também contribuem, como a absorção, convecção, permeabilidade e o transporte de água pelo interior do concreto quando o mesmo permanece em contato com a água, passando da face exposta à água até a face que se encontra seca (Luping *et. al* 2012) [2]. Juntamente com a baixa permeabilidade do concreto, a espessura de cobrimento é um fator importante no controle do ingresso dos agentes agressivos no concreto, pois quanto maior a espessura do cobrimento maior é o intervalo de tempo para que os agentes agressivos atinjam a superficie da armadura [8].

Esta camada de concreto, além de evitar a entrada de agentes agressivos evita o contato direto do concreto com o ambiente externo. Ainda, devido ao elevado pH promovido pelo mesmo no interior da armadura causando a formação de uma camada passivadora em torno da armadura que evita sua deterioração [9]. Visando que as estruturas apresentem qualidade e espessura de cobrimento suficientes para garantia de proteção das armaduras, normas nacionais e internacionais regulamentam esta especificação visando a durabilidade. (ABNT NBR 6118 [3], EN 1992-1 [10], AS3600 [11]).

Entre os agentes agressivos que causam a deterioração do concreto destacam-se a penetração de CO_2, ocasionando a chamada carbonatação e a de íons cloreto como os principais agentes agressivos despassivadores das armaduras [12]. A corrosão desencadeada por estes dois agentes ocorre de forma diferencidada, sendo a ocasionada pela carbonatação de forma generalizada, enquanto a corrosão ocasionada pela presença de ions cloretos ocorre de forma localizada, ou seja, por pites. Segundo a maioria dos pesquisadores, isto acontece pois a corrosão ocasionada pela presença de ions cloretos causa a ruptura dinâmica da película passivadora com eventos repetidos de despassivação e repassivação até a despassivação definitiva da armadura [9].

A corrosão por pites causa uma perda de massa inferior à corrosão generalizada, pois ocorre em regiões isoladas, no entanto a corrosão por pites pode causar efeitos altamente prejudiciais à armadura. Isso ocorre pois na região onde ocorre a corrosão por pites há uma amplificação das tensões de tração. Isso ocorre devido a elevada relação comprimento/raio desses defeitos, essa concentração de tensões de tração prejudica a resistência à fadiga da armadura entre outros efeitos adversos [6]

1.1 Métodos de avaliação da penetração de íons cloreto

Tendo em vista que a migração dos ions cloretos no interior do concreto ocorre ao longo de muitos anos sua análise em laboratório se torna muito limitada, devido ao longo tempo que demanda e às variáveis passíveis de ocorrência. Para que se possa determinar com mais facilidade e controle a resistência de uma determinada estrutura ao ataque de ions cloretos, foram instituidos vários ensaios que aceleram esse processo e que podem a médio e/ou curto prazo, determinar a resistência à penetração de cloretos em uma estrutura de concreto armado.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

Esses ensaios são baseados em dois processos que facilitam mensuração da resistência a penetração de cloretos, alguns são baseados na difusão outros utilizam a condutividade elétrica como parâmetro mensurador e acelerador do processo. Dentre os ensaios que se baseiam na difusão como processo facilitador para o ingresso de ions cloretos destaca-se o método apresentado pela norma AASHTO T259 – *Standard Method of Test for Resistance of Concrete Chloride Ion Penetraion- Salt Ponding Test* [13]. Os principais métodos que utilizam, por sua vez, a condutividade elétrica apresentados pelas normas ASTM C 1202 - *Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration* [14], NT BUILD 492 [15] além dos métodos normatizados podemos também destacar o Método CAIM (Corrosão Acelerada por Imersão Modificada) [16].

Cada método possui peculiaridades que os destacam positivamente ou negativamente perante os outros métodos. Estes métodos diferem entre si de acordo com o tamanho das amostras, os equipamentos utilizados para análise, o tipo de resultado oferecido, entre outros [17]. O método ASHTO T259, por exemplo, permite que a amostra permaneça em contato com uma solução contedo 16,5% de NaCl em uma de suas faces por 90 dias. Uma de suas desvantagens é que o ensaio requer no mínimo 118 dias para sua realização (14 dias de cura, 14 dias de secagem e 90 dias de ensaio), e a obtenção dos resultados gera um acréscimo de custo considerável [17,18].

O método apresentado pela norma ASTM C1202 é um ensaio de curta duração, apenas 6 horas porém que demanda um longo tempo de preparação das amostras, que, contudo, não mensura ciclos de ataque de cloretos e sim a permeabilidade do concreto através da medição da corrente passante pela amostra após a aplicação de uma difrença de potencial constante. A corrente total mensurada é correlacionada com a capacidade de penetração de ions cloretos no interior do concreto[18]. Este ensaio possui uma boa correlação com o método ASHTO T259 porém além do longo tempo de preparação da amostra este método ainda apresenda algumas deficiências como a sua natureza destrutiva e o aquecimento da amostra que pode afetar os resultados [19]. Outro aspecto importante é que a condutivade elétrica é dependente da composição quimica da solução contida nos poros do concreto, composição essa que pode variar podendo alterar os resultados dos ensaios[20].

A norma NT BUILD 492 [15] ataque de cloretos. Após esse processo é possível calcular o coeficiente de difusão de Cl- que mostrará a capacidade do material de resistir ao ataque de cloretos [17]. O problemamais crítico referente a aplicação deste ensaio refere-se à sua longa duração, quando comparado ao ASTM C1202 [14], que pode chegar a 4 dias em alguns casos e a variedade de voltagens que devem ser aplicadas [18].

O método CAIM (Corrosão Acelerada por Imersão Modificada) assim como método NTBUILD 492 [15] induz migração de ions cloretos para o interior do concreto em uma amostra que possui em seu interior uma barra de aço, induzindo a corrosão da mesma. Após esse processo é possível verificar a corrosão das amostras através da medições de massa do material e sua redução em função do processo de corrosão [16].

Diante das peculiaridades apresentadas anteriormente o desenvolvimento de novas metodologias ou a adoção de outros métodos para avaliação do concreto frente ao ataque de cloretos se mostra muito importante. Dentre as alternativas que vem sendo adotadas está o ensaio instituido pela norma ASTM B- 117- *Salt spray* [21]. O ensaio de salt spray é reconhecido mundialmente pelo seu uso na avaliação da resistência à corrosão de metais revestidos ou expostos. Neste procedimento, as amostras são submetidas à um ambiente corrosivo verificando-se a perda de massa, os modos de corrosão predominantes e os aspectos visuais decorrentes da reação dos materiais com a névoa salina[22].

Para concretos, alguns estudos fazem uso de tal método, combinando a submissão das amostras à névoa com a aplicação de indicador químico de nitrato de prata. Este indicador apresenta distintas colorações para amostras onde há presença de íons cloreto e onde há concreto inatingido pelo fenômeno. Porém como este estudo ainda não é muito difundido, a avaliação da geometria dos corpos de prova, aplicação de proteção nas suas extremidades e verificação da metodologia de análise dos resultados se faz necessária, de modo a observar melhor o comportamento das amostras quando submetidas a este ensaio.

Deste modo, visando avaliar o procedimento do ensaio de névoa salina em concretos, este estudo propôs a realização do ensaio com os 4 traços de concreto previstos na ABNT NBR 6118, para as respectivas 4 classes de agressividade ambiental. Após 1728 horas e 72 dias de exposição no ambiente de névoa, as amostras foram rompidas longitudinalmente de modo que, através do indicador químico nitrato de prata fosse analisado o comportamento de penetração dos íons. Contou-se com oito corpos de prova prismáticos possuindo 4x4x16cm, sendo dois pertencentes à cada classe de agressividade ambiental preescritas na NBR 6118. As extremidades das amostras foram protegidas com uma película de tinta epóxi, aplicada em duas camadas, visando impedir o ingresso de ions cloretos. Houve também a análise de oito corpos de prova de 6x6x18cm, sendo dois corpos de prova referentes a cada classe ambiental, como realizado anteriormente, sendo porém, aplicada a película protetora de tinta epóxi à apenas na metade dessas amostras.

Através do rompimento longitudinal, fez-se uma análise de quais seriam as frentes de ataque máximas de ions cloretos caso os corpos de prova fosse rompidos transversalmente, como foi realizado por Pacheco (2016) [23] Para a mensuração da espessura que foi atacada pelos ions cloretos foi analisada a viabilidade de utilização do software ArcMap 10.3 juntamente com o software Autocad, de análise de imagens.

2. METODOLOGIA

2.1 Preparação dos Corpos de Prova

2.1.1 Caracterização dos Materiais e elaboração dos traços

O cimento utilizado foi o CP-V-ARI, sua distribuição granulométrica foi obtida através do método da granulometria a laser, utilizando como fluído o álcool isopropílico e o equipamento Microtrac, modelo S3500. Os agregados utilizados foram submetidos à ensaios para determinação da sua distribuição granulómetrica, massa específica e massa unitária. A determinação da massa unitária, massa específica e distribuição granulómetrica do agregado miúdo foi obtida através das nomas ABNT NBR NM45:2006 [24], ABNT NBR NM 52:2009 [25] e ABNT NBR NM 248:2003 [26] respectivamente.

No caso do agregado graúdo os procedimentos utilizados para determinação dessas características são os apresentados pelas normas ABNT NBR NM 45:2006 [24] , ABNT NBR NM 53:2009 [25] e ABNT NBR NM 248:2003 [26], respectivamente.O agregado miúdo é de origem quartsoza e é proveniente do Vale do Rio dos Sinos/RS, o agregado graúdo, por sua vez, é de origem basáltica. Os traços foram elaborados segundo as recomendações constantes na ABNT NBR 6118[3] e ABNT NBR 12655[4], conforme sintetiza-se na Tabela 1.

Tabela 1: Especificação dos concretos de acordo com a ABNT NBR 6118 e ABNT NBR 12655

Parâmetro de especificação	Classes de agressividade ambiental			
	I	II	III	IV
Consumo mínimo de cimento	260	280	320	360
Máxima relação a/c	0,65	0,6	0,55	0,45
Resistência à compressão	C20	C25	C30	C40

Contou-se com a utilização 0,87% de aditivo superplastificante, cujas características podem ser observadas na Tabela 2, em relação à massa de ciimento em cada traço. Desta maneira, verificou-se que todos os traços, mesmo com os distintos valores de relação água/cimento apresentaram abatimento S100, de acordo com a ABNT NBR 7212 [27].

Tabela 2: Propriedades do aditivo superplastificante

Dados Técnicos			
Função	Aditivo superplastificante de 3ªgeração para concreto		
Base Química	Éter policarboxílico		
Aspecto	Líquido		
Cor	Branco turvo		
Ação secundária	Redutor de água		
Solubilidade em água: Total			
Testes	Método BASF	Especificação	Unidade
Aparência	TM 761B	Líquido branco turvo	Visual
Ph	TM 112B	05/jul	-
Densidade	TM 103 B	1,067-1,107	gm/cm³
Sólidos	TM 613 B	28,5 - 31,5	%
Viscosidade	TM 117	<150	Cps

Fonte: BASF (201

2.1.2 Moldagem, cura e revestimento das amostra

A moldagem dos corpos de prova foi realizada em formas metálicas. A moldagem foi relizada em 2 camadas, cada camada foi submetida a 30 golpes com a utilização de uma haste metálica. Após moldados os corpos de prova foram rasados com a utilização de uma régua metálica. Posteriormente as formas foram encaminhadas à uma sala com temperatura e umidade constantes de 25°C e 95%, respectivamente. Completadas 24 horas de moldagem os corpos de prova foram retirados das formas e novamente armazenados na sala com umidade e temperatura constantes, até a idade de 28 dias.

Após curados todos os corpos de prova de 40mm de lado e metade dos corpos de prova de 100mm de lado receberam uma película de proteção. Essa proteção foi aplicada nas extremidades dos corpos de prova como pode ser

observado na Figura 01 e trata-se de duas demãos de tinta epóxi aplicadas com a utilização de pincel, esta metodologia também foi adotada por Val (2007)[28].



Figura 1: Película Protetora nas Extremidades do Corpo de Prova

2.2 Ensaio de "Salt Spray" – ASTM B117

O ataque por cloretos foi realizado de acordo com procedimento da ASTM B117:2011[21]. A câmara de ensaio foi programada para que fosse mantida constante uma temperatura interna de 35ºC, a solução salina aspergida no ambiente possui pH entre 6,5 e 7,2 e concentração de NaCl de 5%, sendo o ambiente de ensaio saturado. Os corpos de prova foram inseridos na câmara com a idade de 56 dias, quando foi iniciado o ensaio. A Figura 2 apresenta a câmara utilizada para o ensaio e a disposição das amostras, esta disposição foi realizada de forma com que não houvesse gotejamento sobre as amostras e para que toda a superfície das amostras ficasse em contato com a névoa salina, desta forma as amostras foram mantidas suspensas através da utilização de um barbante.



Figura 2: Câmara cíclica para o ensaio de névoa salina e disposição dos corpos de prova

2.3 Rompimentos Longitudinais e Aspersão de Nitrato de Prata

Os rompimentos longitudinais ocorreram após 1728 horas de ensaio de modo que fosse possível a observação da frente de ataque de ions cloretos. O rompimento longitudinal foi realizado após a realização de um sulco, demonstrado na Figura 3 que tem por objetivo induzir o rompimento central da amostra. Vale salientar que o sulco e o rompimento não foram realizados nas faces onde a amostra foi rasada, devido às diferentes propriedades que essa face e a face oposta a ela possuem, o que poderia induzir a um erro de medição. A Figura 3 também apresenta um corpo de prova que foi rompido e sobre o mesmo foi aspergido o indicador químico nitrato de prata, logo após o rompimento da amostra. A área que apresenta coloração marrom indica que o concreto não sofreu o ataque dos ions cloretos, já a área em que não houve alteração na coloração demonstra a presença de ions cloretos.



Figura 3: Sulco no centro da amostra e amostra de concreto após rompimento e aspersão do nitrato de prata

2.4 Processamento das imagens no Software Arcgis

Constatou-se que ao realizar o indicador químico nitrato de prata não demonstra com nitidez os locais onde há presença de ions cloretos, devido à sua coloração semelhante às zonas onde não há a presença de cloretos. Desta forma,

de modo a facilitar a identificação das zonas onde há a presença de ions cloretos, utilizou-se o software Arc Map 10.3. Esta ferramenta é utilizada para geo-referenciamento e análise de imagens e nos possibilita realizar uma classificação da imagem, identificando diferenças de tonalidade em classes de cores, especificadas pelo usuário, facilitando a observação das zonas onde há presença de ions cloretos. Para utilização desta ferramenta a imagem é inserida no programa e utiliza-se a ferramenta "Spacial analyst tools". Na configuração seguinte opta-se pela opção Multivariate e então "Iso cluster unsupervised classification". A Figura 4 apresenta a fotografia de uma amostra exposta à névoa salina e sua correspondente imagem após uso do software e na sequência sem a marcação da fotografia inicial.



Figura 4: Fotografias das amostras com identificação de tonalidade pelo software

2.4 Mensuração através da utilização so software Autocad™

Após identificar as zonas em que há presença de ions cloretos através do software Arc Map 10.3, procedeu-se com a mensuração das frentes de ataque. Essa mensuração ocorreu de duas formas, primeiramente foram realizadas medidas em quatro alturas das amostras, conforme Figura 5, de forma a obter as frentes de ataque de ions cloretos que seriam obtidas caso as amostras fossem seguimentadas em pedaços. Essa medição foi realizada em ambos os lados do corpo de prova direito (D) e esquerdo (E), foram realizadas medições da largura total do corpo de prova nesses pontos de modo que através de uma relação com a largura total, podessem ser obtidas as frentes de ataque reais, minimizando erros que poderiam ocorrer devido à inclinação da imagem.



Figura 5: Medição das frentes de ataque de ions cloretos transversalmente nas amostras

Posteriormente foram identificadas as frentes de ataque máximas e suas respectivas localizações nos corpos de prova, a localização é dada pela altura de localização da frente de ataque máxima, tomando como eixo de referência o ponto inferior do corpo de prova.

3. RESULTADOS

3.1 Caracterização dos materiais

As carácteristicas do cimento podem ser observadas na Tabela 3. A distribuição granulométrica pode ser observáda na Figura 6, constatou-se também através deste ensaio que o formato das partículas é irregular.

Tabela 3: Características do cimento

Ensaios			Limites especificados em norma	Valor médio- amostras mês de março
ENSAIOS QUÍMICOS	Teores (%)	PF	≤4,5	3,63
		MgO	≤6,5	5,94
		SO3 para C3A≤8	≤3,5	3,03
		RI	N/A	12,28
ENSAIOS FÍSICOS	Finura (%)	#200	≤6,0	0
		#400	N/A	1,37
	Blaine	(cm²/g)	≥3000	4875
	Água de consistência (%)		N/A	30,78
	Tempo de pega	Início (min)	≥60	220,45
		Fim (min)	≤600	262
	Expansibilidade a quente (mm)		≤5,5	0,63
ENSAIOS MECÂNICOS	Resistência à compressão	1 dia	≥11,0	22,62
		3 dias	≥24,0	34,03
		7 dias	≥34,0	39,16
		28 dias	N/A	47,56



Figura 6: Granulometria Cimento CP-V

A massa unitária e específica dos agregados, graúdo e miúdo pode ser observada na tabela 4. A distribuição granulométrica está demonstrada na tabela 5 para o agregado miúdo e na Tabela 6 para o agregado graúdo.

Tabela 4: Massa unitária e massa específica do agregado miúdo: areia

Característica avaliada	Agregado Miúdo	Agregado Graúdo
Massa unitária	1,37g/cm³	1,54 g/cm³
Massa específica aparente	2,59g/cm³	2,64 g/cm°
Massa específica do agregado seco	2,55g/cm³	2,89g/cm³
Massa específica do agregado saturado com superfície seca	2,57 g/cm³	2,73g/cm³

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

Tabela 5: Distribuição granulométrica agregado miúdo

Abertura das peneiras (mm)	Massa retida	% retido em massa	% acumulado	Peneiras série normal
6,3				
4,8	5	1	1	0
2,4	15	3	4	0
1,2	35	7	11	1
0,6	55	11	22	2
0,3	130	26	48	31
0,15	255	51	99	88
Fundo	5	1	100	100
Total	500			222,16
	Diâmetro máximo (mm)	4,8mm	**Módulo de finura**	**2,22**

Tabela 6: Distribuição granulométrica a agregado graúdo

Abertura das peneiras (mm)	Massa retida	% retido em massa	% acumulado	Peneiras série normal
25	0,00	0	0	
19	0,00	0	0	0
12,5	0,00	0	0	
9,5	199,6	20	20	20
6,3	480,4	48	68	
4,8	180,1	18	86	86
2,4	129,9	13	99	99
1,2	9,9	1	100	100
0,6	0	0	100	100
0,3	0	0	100	100
0,15	0	0	100	100
FUNDO	0	0	100	100
TOTAL	1000			676,91
	Diâmetro máximo (mm)	12,5	**Módulo de finura**	**6,77**

3.2 Ropimentos longitudinais

Apesar da utilização do sulco algumas amostras não romperam em seu centro e tiveram que ser descartadas. Outro problema enfrentado durante a realização dos rompimentos foi o rompimento transversal no centro das amostras, que acabou dificultando a posterior análise.

3.3 Utilização do software Arc Map 10.3

A utilização do software auxiliou na observação das zonas onde há a presença de ions cloretos se mostrou efetiva, porém houveram alguns problemas. Um dos problemas enfrentados foi que nas imagens o fundo encontrava-se em uma tonalidade semelhante à da amostra, fazendo com que o programa não distinguisse o fundo da amostra afetada pelos ions cloretos, como pode ser observado na Figura 7. Essa influencia impossibilitou a utilização do software no auxílio da medição da frente de ataque de alguams amostras, a qual foi feita utilizando apenas o software Autocad.

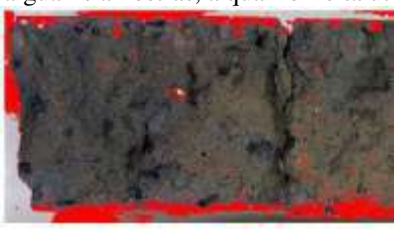

Figura 7: Influência do fundo na análise com o sofware ArcMap 10.3

Outro problema enfrentado na utilização dessa ferramenta é a não identificação da mesma de alguns pontos em que havia presença de ions cloretos devido ao escurecimento de algumas zonas por conta da presença de sombras, como pode ser observado na Figura 8. Pode-se observar também na imagem que os agregados, devido a sua tonalidade, são identificados pelo sofware como zonas atacas por cloretos.

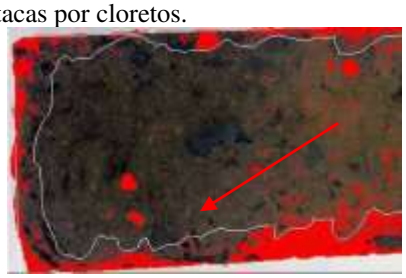

Figura 8: Zonas que o software na identificou como zonas atacadas or ions cloretos

3.3 Medições tranversais

As medições realizadas transversalmente revelaram uma tendência de decréscimo na zona atacada por cloretos com o aumento da classe de agressividade de cada concreto, para os corpos de prova de 6x6x18cm, tanto nos valores máximos quanto na média dos valores encontrados, como podemos observar na Tabela 7. Nos corpos de prova de 4x4x16cm, porém, podemos observar que esse decréscimo não é tão visível, sendo observado inclusive um aumento da frente de ataque de ions cloretos no concreto referente à classe de agressividade III em relação ao concreto referente à classe de agressividade II.

Tabela 7 – Frentes de ataque de ions cloretos, medições segundo metodologia de Pacheco (2016)[23]**, corpos de prova 6x6x18cm**

ALTURA			14,4cm		10,8cm		7,2cm		3.6cm		MÁXIMO	MÉDIA	DESVIO
POSIÇÃO			E	D	E	D	E	D	E	D	(cm)	(cm)	PADRÃO
SEM PROTEÇÃO 6x6x18	I	T11	0,60	0,87	0,31	1,17	0,29	0,82	0,24	0,51	1,42	0,82	0,37
		T12	0,82	1,13	1,21	0,68	**1,42**	0,83	1,32	0,73			
	II	T21	0,13	**1,01**	0,13	0,77	0,46	0,83	0,42	0,31	1,01	0,44	0,35
		T22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
	III	T31	0,20	0,32	0,15	0,36	**0,83**	0,52	0,00	0,46	0,83	0,31	0,20
		T32	0,28	0,50	0,20	0,38	0,38	0,30	0,00	0,28			
	IV	T41	0,00	0,29	0,00	0,27	0,00	0,18	0,00	0,26	0,37	0,11	0,13
		T42	**0,37**	0,17	0,24	0,10	0,00	0,12	0,00	0,00			
COM PROTEÇÃO 6x6x18	I	T11	0,82	0,75	0,88	0,43	0,97	1,08	0,81	0,73	1,25	0,91	0,20
		T12	**1,25**	1,21	0,94	0,94	0,91	0,68	0,91	1,01			
	II	T21	0,55	0,53	0,27	0,48	0,19	0,46	**0,83**	0,66	0,83	0,50	0,29
		T22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
	III	T31	0,14	0,49	0,07	0,59	0,28	**0,61**	0,38	0,56	0,61	0,44	0,25
		T32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
	IV	T41	0,17	0,00	0,00	**0,37**	0,15	0,11	0,19	0,24	0,37	0,16	0,12
		T42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			

Tabela 8 – Frentes de ataque de ions cloretos, medições segundo metodologia de Pacheco (2016)[23]**, corpos de prova 4x4x16cm**

ALTURA			12,8cm		9,6cm		6,4cm		3,2cm		MÁXIMO	MÁXIMO	DESVIO
POSIÇÃO			E	D	E	D	E	D	E	D	(cm)	(cm)	PADRÃO
COM PROTEÇÃO 4X4X16	I	T11	0,20	0,46	0,20	0,46	0,26	0,41	0,71	0,24	0,81	0,25	0,21
		T12	0,24	0,24	0,24	0,24	**0,81**	0,65	0,13	0,56			
	II	T21	0,29	0,49	0,29	0,49	0,13	0,56	0,50	0,73	0,80	0,39	0,24
		T22	0,19	0,23	0,19	0,23	0,00	0,68	**0,80**	0,70			
	III	T31	0,68	0,29	0,68	0,29	0,65	0,32	**0,92**	0,33	0,92	0,51	0,21
		T32	0,56	0,53	0,56	0,53	0,49	0,09	0,30	0,36			
	IV	T41	0,00	0,31	0,00	0,31	0,40	**0,70**	0,00	0,14	0,70	0,18	0,20
		T42	0,10	0,40	0,10	0,40	0,04	0,21	0,08	0,42			

O valor máximo de penetração foi encontrado no corpo de prova de 6x6x18 referente à classe de agressividade ambiental I e representa 1,42cm. Podemos observar nos corpos de prova menores, uma semelhança nas medições das frentes de ataque de ions cloretos para as diferentes classes, não podendo diferenciá-las precisamente, o que é facilmente realizado observando-se os valores obtidos através das medições dos corpos de prova maiores.

3.3 Penetrações máximas

As penetrações máximas encontradas e suas respectivas alturas estão demonstradas nas tabela 9, para os corpos de prova de 6x6x18cm com e sem proteção e para os corpos de prova de 4x4x16cm.

Tabela 9 – Frentes de ataque máximas de ions cloretos e suas localizações medidas através do rompimento longitudinal das amostras

	CLASSE	TRAÇO	PENETRAÇÃO MÁXIMA (cm)	ALTURA (cm)	MÁXIMA (cm)		CLASSE	TRAÇO	PENETRAÇÃO MÁXIMA (cm)	ALTURA (cm)	MÁXIMA (cm)		CLASSE	TRAÇO	PENETRAÇÃO MÁXIMA (cm)	ALTURA (cm)	MÁXIMA (cm)
SEM PROTEÇÃO 6x6x18	I	T11	1,75	11,14	2,03	COM PROTEÇÃO 6x6x18	I	T11	1,20	5,69	2,44	COM PROTEÇÃO 4X4X16	I	T11	1,01	11,00	1,01
		T12	2,03	0,84				T12	2,44	0,12				T12	0,98	6,82	
	II	T21	1,68	1,25	1,68		II	T21	1,54	0,23	1,54		II	T21	0,87	12,00	0,89
		T22	-	-				T22	0	0				T22	0,89	7,16	
	III	T31	1,04	17,30	1,04		III	T31	1,21	0,84	1,21		III	T31	0,99	3,43	0,99
		T32	0,75	16,50				T32	0	0				T32	0,75	13,00	
	IV	T41	0,70	2,60	0,7		IV	T41	1,15	18,00	1,15		IV	T41	0,79	6,91	0,79
		T42	0,45	0,55				T42	0	0				T42	0,50	11,45	

Através da tabela XX podemos observar o acréscimo da espessura de ataque de ions cloretos, levando em consideração as medidas máximas obtidas através transversalmente do método proposto por Pacheco(2016)[23] e das medidas obtidas longitudinalmente.

Tabela 9 – Acréscimo da espessura atacada por ions cloretos das medições através do rompimento longitudinal em relação à frente de ataque máxima obtida pela metologia utilizada por Pacheco (2016)[23]

CLASSE	SEM PROTEÇÃO 6x6x18			COM PROTEÇÃO 6x6x18			COM PROTEÇÃO 4x4x16		
	MÁXIMA LONG. (cm)	MAXIMA TRANSV. (cm)	ACRÉSCIMO (%)	MÁXIMA LONG.	MAXIMA TRANSV.	ACRÉSCIMO (%)	MÁXIMA LONG.	MAXIMA TRANSV. (cm)	ACRÉSCIMO (%)
I	2,03	1,42	42,96	2,44	1,25	95,91	1,01	0,81	24,36
II	1,68	1,01	66,34	1,54	0,83	86,45	0,89	0,80	11,96
III	1,04	0,83	25,30	1,21	0,61	99,31	0,99	0,92	7,53
IV	0,70	0,37	87,67	1,15	0,37	212,34	0,79	0,70	13,63
MÉDIA	-	-	54,65	-	-	97,61	-	-	12,80

3.4.Geometria de Ataque de Ions Cloretos

Na tabela 10 podemos observar como se desenvolveu o ataque de ions cloretos nos corpos de prova que nao foram submetidos à nenhum tipo de proteção em sua extremidade, e que possuiam dimensões de 6x6x18cm.

Tabela 10 – Geometria de ataque de ions cloretos em amostras de 6x6x18cm sem proteção

			
Traço 1	Traço 2	Traço 3	Traço 4

Demonstra-se na tabela 11 e 12 como ocorreu a geometria de ataque de ions cloretos nas amostras protegidas por uma película de tinta epóxi em suas extremidades.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

Tabela 11 – Geometria de ataque de ions cloretos em amostras de 6x6x18cm com proteção

			
Traço 1	Traço 2	Traço 3	Traço 4

Tabela 12 – Geometria de ataque de ions cloretos em amostras de 4x4x16cm sem proteção

			
Traço 1	Traço 2	Traço 3	Traço 4

4. CONCLUSÕES

Com base nas proposições e resultados apresentados neste trabalho, podemos concluir que:

(1) O software Arc Map 10.3 apresenta-se como a uma ferramenta de auxílio muito útil na identificação das zonas onde há a presença de ions cloretos, porém deve-se tomar cuidado para que a coloração do fundo, a presença de sombras na imagem ou diferenças de luminosidade não comprometam seu funcionamento. Esses problemas impediram a utilização do software para a análise de grande parte das amostras.

(2) Os corpos de prova de 6x6x18cm apresentaram resultados que demonstraram melhor a influência da qualidade do concreto frente ao ataque de ions cloretos, apresentando um decréscimo significativo no ingresso desses agentes agressivos quando elevada a qualidade do concreto.

(3) Os corpos de prova de 4x4x16cm apresentaram valores bem distantes dos apresentados pelas amostras maiores, apresentando inclusive uma penetração maior de cloretos no concreto referente à classe de agressividade III, quando comparado aos concretos referentes às classes de agressividade I e II.

(4) O rompimento das amostras de forma longitudinal acabou levando ao descarte de algumas peças o que causou uma diminuição na amostragem. Portanto recomenda-se a investigação da possível utilização de amostras cilíndricas para este fim, as quais o rompimento longitudinal central é obtido mais facilmente.

(5) A penetração máxima obtida levando em consideração todo o perfil de ataque longitudinal da amostra demonstraram um comportamento semelhante às medições realizadas segundo a metodologia utilizada por Pacheco (2016)[23] porém com acréscimos. Esses acréscimos foram bem variados, tendo os corpos de prova de 6x6x18cm com proteção apresentado os maiores valores. Os corpos de prova de 4x4x16cm apresentaram os menores acréscimos, porém a semelhança entre as frentes de ataque para os diferentes tipos de concreto, como comentado anteriormente, permaneceu.

(6) Observa-se que nos corpos de prova maiores com e sem proteção as penetrações máximas medidas através da análise do perfil longitudinal de ataque ocorreram principalmente nas suas extremidades, com alturas elevadas ou muito baixas. Nos corpos de prova menores por sua vez essas penetrações puderam ser observadas predominantemente na região central da amostra.

(7) Podemos observar que a geometria de ataque de ions cloretos é bem heterogênea e varia drasticamente em poucos centímetros. Nos corpos de prova que não receberam a pintura podemos observar o ingresso dos ions cloretos pelas extremidades, o que induziu um efeito combinado, aumentando as frentes de ataque nos cantos das amostras.

(8) A utilização da névoa salina, mostrou-se um ensaio de simples realização, porém ainda são necessários estudos, para o completo entendimento deste ensaio quando utilizado para avaliação da penetração de ions concretos no concreto.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos profissionais do itt Performance, do itt Fuse e do laboratório de Materiais de Contrução Civil da Unisinos

6. REFERÊNCIAS

[1] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 15575-1: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013. 71 p.

[2] Luping, T.; Nilsson, L. Basheer, P. A. M.. *Resistance of concrete to chloride ingress: Testing and modelling*. CRC Press, 2012, 238 p.

[3] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014. 238 p.

[4] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento*. Rio de Janeiro:Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015. 23 p.

[5] Tuutti, K. Corrosion of steel in concrete. Dissertion (Monograph), Swedish Cement and Concrete Research Institute, Kungliga Tekniska Högskolan i Stockholm, 1982. 428 p.

[6] Ribeiro, D. V., et al. *Corrosão em estruturas de concreto armado: Teoria, controle e métodos de análise.* 1 ed, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. 246p.

[7] Possan, E. *Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano*. 2010. 265 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós- graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010

[8] Freire, K. *Avaliação do desempenho de inibidores de corrosão em armaduras de concreto.* 2005. 211 f. Dissertação (Mestrado) - Engenharia e Ciências dos Materiais, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

[9] Figueiredo, E. P.; Meira, G.. BT06 - *Corrosão das armaduras das estruturas de concreto*. Mérida: ALCONPAT Internacional, 2013. 30 p

[10] European Committee for Standardization. *EN 1992-1-2: Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design*. Brussels: European Committee For Standardization, 2004..

[11] AS3600, Australian Standard. Concrete structures. *AS3600-2001. Sydney (Australia): Standards Australia*, 2001.

[12] Cascudo, O. *Inspeção e diagnóstico de estrutura de concreto com problemas de corrosão da armadura*. In: Concreto: ensino, pesquisa e realizações. 2v. ed. Geraldo C. Isaia. São Paulo: IBRACON, 2005.

[13] AASHTO *T-259: Standard Method of Test for Resistence of Concrete Chloride Ion Penetration*. Washington D. C., 2002.

[14] American Society for Testing Materials. *ASTM C1202-07: Standard Test Method for Electrical Indication of concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration*. Philadelphia, 2007.

[15] Nordtest Method. *NT BUILD 492: Concrete, Mortar and Cement-Based Repair Materials: Chloride Migration Coefficient From Non-Steady-State Migration Experiments*. Nordtest, Espoo, Finland, 1999.

[16] Graeff, A. G. *Avaliação experimental e modelagem dos efeitos estruturais da propagação da corrosão em elementos de concreto armado*. 2007. 184 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

[17] Fedumenti, M. B.. *Avaliação da Influência da cinza de casca de arroz no comportamento de concretos com agregado reciclado de concreto em relação a propriedades mecânicas e de durabilidade, com ênfase no transporte de íons cloreto*. 2013. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2013.

[18] Vivas, E.; Boyd, A.; Hamilton, H. R. *Permeability of Concrete – Comparison of Conductivity And Diffusion Methods*. University of Florida – Department of Civil & Coastal Engineering, Gainesville, Florida, 2007.

[19] R. D. Hooton. *Study of the Joule effect on rapid chloride permeability values and evaluation of related electrical* properties of concretes, vol. 34, pp. 1007–1015, 2004.

[20] Shi, C. *Another look at the rapid chloride permeability test (ASTM C1202 or ASSHTO T277)*. FHWA Resource Center, Baltimore. 2003.

[21] American Society for Testing Materials. *ASTM B117: Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus*. 2011.

[22] Kishimoto, I. *Experimental Study on the Corrosion Condition of Steel Bars in Cracked Reinforced Concrete Specimen*. In: International Symposium on the Ageing Management & Maintenance of Nuclear Power Plants, Tokyo, 2010. Proceedings of International Symposium on the Ageing Management & Maintenance of Nuclear Power Plants . Tokyo, 2010.," p. 2010, 2010.

[23] F. Pacheco, *Investigação da relação entre os parâmetros de projeto das estruturas de concreto armado visando a durabilidade*. 2016. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2016 (dissertação em elaboração).

[24] Associação Brasileira de Normas Técnicas – *ABNT. NBR NM 45: 2006. Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios*. Rio de Janeiro, 2006.

[25] Associação Brasileira de Normas Técnicas - *ABNT. NBR NM 52: 2009.Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente*. Rio de Janeiro, 2009.

[26] Associação Brasileira de Normas Técnicas – *ABNT. NBR NM 248: 2003. Agregados - Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro, 2003.

[27] Associação Brasileira de Normas Técnicas – *ABNT. NBR 7212: Execução de concreto dosado em central — Procedimento*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012. 16 p.

[28] VAL, J. G.. A*valiação do desempenho de camada protetora em concreto submetido a meio quimicamente agressivo* . Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007, 72 p.