A SEGURANÇA DAS OBRAS NO BRASIL DISCUTIDA SOB DIFERENTES PONTOS DE VISTA. TRAGA O SEU.
1º CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES
21 a 23 de maio de 2014 - Foz do Iguaçu - PR

DISCUSSÃO SOBRE O TEOR CRÍTICO DE ÍONS CLORETO PARA DESPASSIVAÇÃO DA ARMADURA DO CONCRETO

SOARES, T.[1], REAL, L. V. [2], MEDEIROS, M.H.F.[3]

[1] Universidade Federal do Paraná, Mestranda, Engenheira Civil, e-mail: ligiavr@gmail.com
[2] Universidade Federal do Paraná, Mestranda, Tecnóloga em Concreto, e-mail: talitaccsoares@gmail.com
[3] Universidade Federal do Paraná, Docente, Prof. Doutor Eng. Civil, e-mail: medeiros.ufpr@gmail.com

RESUMO

A presença de cloreto no concreto, proveniente tanto de fontes externas quanto internas, pode provocar a corrosão da armadura através da destruição da camada passivadora que protege a superfície do aço. Estudos têm sido realizados com o intuito de encontrar o limite máximo de cloretos que uma estrutura de concreto pode conter antes que se inicie o processo de corrosão. Recentes estudos apresentam limites de cloretos totais que variam de 0,20 a 3,04% da massa de cimento ou de 0,80 a 12,16 kg/m³ da massa de concreto. No entanto, o valor limite de cloretos não é fixo, pois ele depende de diversos fatores, tais como a qualidade da interface aço-concreto, o pH da solução de poro, o potencial eletroquímico do aço, o teor de umidade no concreto, o tipo de cimento, a relação água/cimento e a temperatura. Pelo o que se constata com este estudo, os especialistas em corrosão ainda não concordaram com um método apropriado para determinar a concentração de cloretos dissolvidos que inicia a corrosão. O presente artigo apresenta e compara estudos publicados por diversos autores sobre esse teor limite crítico de cloretos, formando um panorama geral do conhecimento atual na área.

Palavras chave: concreto, corrosão, íons cloreto, limite de cloretos.

ABSTRACT

The presence of chloride in concrete, from both external and internal sources, can lead to reinforcement corrosion through the destruction of the passivating layer that protects the steel surface. Studies have been conducted in order to find the limit of chlorides that a concrete structure can hold before they start the corrosion process. Recent studies have presented that the total chloride limits may range from 0.20 to 3.04 % by mass of cement or from 0.80 to 12.16 kg/m³ of concrete mass. However, the threshold chloride value is not fixed as it depends on several factors such as the quality of steel-concrete interface, the pH of the pore solution, the electrochemical potential of steel, the moisture content in concrete, the type of cement, the water/cement ratio and temperature. This study shows that the corrosion experts have not agreed on an appropriate method to determine the concentration of dissolved chlorides that may initiate corrosion. This paper presents and compares studies published by various authors about this critical threshold level of chloride, forming an overview of the current knowledge in the area.

Keywords: concrete, corrosion, chloride ions, chloride threshold

1. INTRODUÇÃO

Vários estudos sobre manifestações patológicas em estruturas de concreto armado realizados no exterior (MEHTA, 1993; STEWART et al., 1998) e no Brasil (CARMONA e MAREGA, 1988; DAL MOLIN, 1988; ARANHA, 1994; NINCE, 1996; ANDRADE, 1997) indicam que a corrosão de armaduras é um dos mecanismos de deterioração mais frequentes do concreto, com índices de ocorrência variando entre 27% e 64% (SILVA, 2010).

O aço presente no concreto normalmente encontra-se protegido da corrosão devido à alta alcalinidade do meio (pH entre 12,7 e 13,8). O nível de pH favorece a formação de uma camada de óxidos submicroscópica passivante, compacta e aderente de ɤ- Fe_2O_3 sobre a superfície da armadura que a protege contra corrosão, desde que as condições de potencial e pH mantenham-se estáveis (HELENE, 1993).

A corrosão das armaduras induzida por íons cloretos é a maior causa de deterioração e degradação prematura de estruturas de concreto construídas em ambientes carregados de sais (WEE, 2008 apud SIQUEIRA, 2008). A presença de cloreto no concreto pode provocar a corrosão da armadura através da destruição da camada passivadora que protege a superfície do aço.

Cloretos, tanto do ambiente marinho quanto do sal utilizado para degelo, podem comprometer a passivação do aço e iniciar a corrosão assim que o teor de cloretos atinge um determinado limite (YU et al., 2011), denominado teor crítico ou limite de cloretos.

Algumas pesquisas abordam os dados históricos do teor limite de cloretos que levam ao início da corrosão de armaduras no concreto. O presente artigo apresenta, compara e discute esses estudos e publicações sobre este tema.

2. RELAÇÃO DOS ÍONS CLORETO COM O PROCESSO DE CORROSÃO

Os íons cloreto presentes no concreto armado podem ser oriundos de diversas fontes. No concreto fresco, por exemplo, podem provir da utilização da água marinha na mistura, de agregados contaminados ou do uso de aditivos aceleradores de pega que contém cloreto de cálcio (amplamente utilizados até meados de 1970). No concreto endurecido, os cloretos podem penetrar na estrutura pelo contato direto com a água do mar, pela presença de maresia, pelos sais de degelo ou em estruturas que armazenem sal, como tanques de salmoura e aquários (BROMMFIELD, 1997).

Segundo Siqueira (2008), o ACI 222R–01 apresenta três teorias – descritas a seguir - que explicam o fenômeno de despassivação e corrosão das armaduras por meio dos íons cloretos.

1. Teoria do filme de óxido: os íons cloretos penetram muito mais facilmente nas deformidades da película passivante do que os outros íons agressivos;
2. Teoria da Adsorção: os íons cloretos são adsorvidos na superfície do aço, juntamente com hidroxilas e o oxigênio dissolvido, promovendo a hidratação do ferro e viabilizando a sua dissolução em cátions;
3. Teoria do complexo transitório: há uma disputa entre íons cloretos e ânions hidroxilas para a produção de compostos de corrosão ferrosos, os quais são denominados complexos transitórios. Esses complexos difundem-se do ânodo em direção ao cátodo permitindo a continuidade do processo corrosivo. Esse fenômeno pode ser descrito pelas reações indicadas na Equação (1).

$$Fe^{3+} + Fe^{2+} + Cl^- \rightarrow FeCl_3 + FeCl_2(hidrólise) \rightarrow 6Cl^- + Fe(OH)_2 + Fe(OH)_3 \quad (1)$$

Baseado nessas reações verifica-se o fato das hidroxilas não consumirem os íons cloreto, tornando-se compreensível a razão pela qual pequenas quantidades de cloretos podem ser responsáveis por grandes taxas de corrosão (HELENE, 1986).

3. TEOR LIMITE DE CLORETO

Segundo Schiessl & Lay (2005, apud Angst & Vennesland, 2009), o teor limite de cloreto pode ser definido de maneira científica ou pela engenharia prática. O teor crítico ou teor limite de cloretos é definido como o valor de cloreto necessário para a despassivação do aço. Entretanto, deve-se salientar que a despassivação não conduz necessariamente a degradação. Em um concreto seco, por exemplo, a taxa de corrosão é mantida baixa devido ao controle ôhmico do fluxo de corrente. Na prática, o teor limite é definido como a quantidade de cloretos associada a uma deterioração visível da estrutura.

Normalmente o limite de cloretos é expresso pela porcentagem de cloretos totais em relação à massa de cimento, pois a determinação dos cloretos totais é relativamente simples e padronizada por normas. Como em muitos casos o teor de cimento não é conhecido, pode-se relacionar o teor de cloretos totais à massa do concreto. O limite também pode ser expresso como a concentração em mol/L na solução de poro do concreto.

Os cloretos solúveis em água podem ser encontrados como “cloretos livres”, isto é, na forma de íons na água de poros do concreto (esses são agressivos à armadura) ou como “cloretos combinados”, sendo parte das fases hidratadas da matriz do concreto. A soma dos cloretos livres e dos combinados resulta nos “cloretos totais”. Segundo o ACI 222R–01, estima-se que os cloretos solúveis em água representam de 50% a 75% dos cloretos totais.

Angst & Vennesland (2009) apresentam possíveis configurações de testes que podem influenciar os resultados dos teores limite de cloreto. São eles:

1. Para a seleção de um eletrodo existem diferentes tipos de aço (aço-carbono normal, aço inoxidável, aço galvanizado) em diferentes formas, tais como barras lisas ou nervuradas, que podem ser preparados de várias maneiras (polidas, jateadas, pré-oxidadas).
2. Com relação aos cloretos, pode variar o tipo de sal de cloreto (NaCl, $CaCl_2$) e sua fonte (interna ou externa). No caso de pasta de cimento, argamassa ou concreto, o cloreto pode ser adicionado diretamente à mistura ou introduzido posteriormente no material endurecido por sucção capilar e/ou por difusão ou por migração acelerada. Em experimentos com soluções de poro, o aumento gradual da concentração de cloreto com o tempo é facilmente feito através da adição de cloreto à solução.
3. Para a detecção de despassivação ou grau aceitável de corrosão são disponíveis várias técnicas, tais como Potencial de corrosão, resistência de polarização linear e impedância eletroquímica.
4. O teor de cloreto associado com a corrosão pode ser determinado e expresso de diferentes maneiras, dentre elas: Cloretos totais, cloretos livres, relação $[Cl^-]$ /$[OH^-]$ e relação $[Cl^-]/[H^+]$.

A forma de relacionar a concentração de cloreto com a concentração de íons hidroxila, ou seja, expressar o teor crítico de cloreto com a razão entre [Cl-]/[OH-], depende do pH do concreto. Com o aumento desse valor há o consequente aumento desta razão, ou seja, há o efeito de inibição da hidroxila, que é mais forte a níveis mais elevados de pH (ANGST & VENNESLAND, 2009). Esse formato foi considerado como o mais preciso para expressar o teor crítico de cloreto.

A Tabela 1 resume as diferentes formas de se expressar o teor crítico de cloreto.

Tabela 1: Diferentes formas de expressão do teor crítico de cloreto

Espécies Agressivas	Propriedade inibidora	Como é expresso
Cloreto Total	Em massa de cimento	% em massa
	Em massa de concreto	% em massa
Cloreto Livre	Em massa de cimento	% em massa
	Em massa de concreto	% em massa
Cl^- Livre	-	mol/l
Concentração	Concentração de OH^-	$[Cl^-]/[OH^-]$

FONTE: Autores, adaptado de ANGST & VENNESLAND (2009)

3.1 Apresentação dos teores limite de cloreto

Conforme supracitado, diversos fatores influenciam em um estudo de determinação de teor crítico de cloreto. Segundo Angst & Vennesland (2009), a maior parte da literatura avaliada utiliza em seus experimentos apenas eletrodos de aço carbono normal.

Sobre esse assunto, Angst e Vennesland (2009) enfatizam que, na prática, normalmente não há cloreto presente na superfície do aço no início da vida útil do concreto armado. Apesar disso, 31% das publicações utilizaram a introdução de cloretos na água de mistura da amostra. E ainda, a utilização de barras de aço lisas ou preparadas também não condiz com a realidade, portanto não dá condições realistas no que se refere à interface aço-concreto. Contudo, concluem que os resultados de muitos estudos não são relacionados com a prática.

3.1.1 Resultados expressos em cloretos totais

Segundo Peifer et al., o Código 318 de Construção da ACI (ACI 318 Building Code) de 1989 recomendava os seguintes valores limites para cloretos totais (em porcentagem sobre a massa de cimento):

1. Concreto protendido ≤ 0,06%;
2. Concreto armado exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura ≤ 0,15%;
3. Concreto armado em condições de exposição não severas (seco ou protegido da umidade) nas condições de serviço da estrutura ≤ 1,00%;
4. Outros tipos de construção com concreto armado ≤ 0,30%.

Em 1992, os autores citados publicaram uma crítica ao ACI 318 Building Code, sugerindo os seguintes valores limites para cloretos totais (em porcentagem sobre o peso de cimento):

1. Concreto protendido ou concreto armado exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura ≤ 0,10%;
2. Concreto armado em condições de exposição não severas (seco ou protegido da umidade) nas condições de serviço da estrutura ≤ 0,20%.

Em 1993, Helene expôs que o valor geralmente aceito entre os especialistas era igual a 0,40% em relação à massa de cimento ou de 0,05% a 0,1% em relação à massa de concreto.

A ABNT NBR 7211 (2005) permite que os agregados excedam os teores limites de cloreto por ela prescritos desde que o teor total do concreto (somando os cloretos presentes na água, nos agregados, no cimento, nas adições e aditivos, mensurado com base nas prescrições da ABNT NBR 14832 de 2002 ou da ASTM C 121 de 1997) não exceda os seguintes valores:

1. Concreto protendido ≤ 0,06%;
2. Concreto armado exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura ≤ 0,15%;
3. Concreto armado em condições de exposição não severas (seco ou protegido da umidade) nas condições de serviço da estrutura ≤ 0,40%;
4. Outros tipos de construção com concreto armado ≤ 0,30%.

Ou seja, com exceção do item 3, são os mesmos limites definidos pelo Código 318 de Construção da ACI, de 1989.

Angst & Vennesland (2009) apresentaram em seu estudo uma seleção de quinze resultados obtidos em publicações sobre o tema, os quais apresentam grande dispersão entre si. Conforme apresentado na Tabela 2, os valores limites de cloretos expressos em cloretos totais variam de 0,02 a 3,08% em relação a massa de cimento.

Tabela 2 - Resultados de valores limites de cloretos

Referência	Ano	Cl^-	Tipo de cimento	Limite máximo de cloretos totais	Referência
Richartz	1969	A	OPC	0,40%	Cimento
Gouda *et al.*	1970	A	OPC, GGBS	1,00 a 3,00 %	
Stratfull *et al.*	1975	D	Vários cimentos	0,20 a 1,40 %	
Locke *et al.*	1980	A	OPC	0,40 a 0,80 %	
Elsener *et al.*	1986	A	OPC	0,25 a 0,50 %	
Hope *et al.*	1987	A	OPC	0,10 a 0,19 %	
Hansson *et al.*	1990	D	Vários cimentos	0,40 a 1,37%	
Schiessl *et al.*	1990	A/D	Vários cimentos	0,50 a 2,00 %	
Lambert *et al.*	1991	A/D	OPC, SRPC	1,50 a 2,50 %	
Thomas	1996	D	OPC, FA	0,20 a 0,70 %	
Alonso *et al.*	2000	A	OPC	1,24 a 3,08 %	
Alonso *et al.*	2002	D	Vários cimentos	0,73%	
Castellote *et al.*	2002	D/M	SRPC	0,15 a 0,23 %	
Trejo *et al.*	2003	M	OPC	0,02 a 0,24 %	
Manera *et al.*	2008	A	OPC, SF	0,6 a 2,0 %	
Xu *et al.*	2010	A	OPC	0,46 a 1,12 %	
		D	OPC	0,70 a 0,71 %	

FONTE: Autores, adaptado de Angst & Vennesland (2009)

Na Tabela 2, as fontes dos cloretos foram: A: cloreto adicionado na água de mistura; D/M: cloreto introduzido em amostras endurecidas por difusão ou capilaridade de sucção (D) ou migração (M).

Além das relações com a fonte dos cloretos e o tipo de cimento, Angst & Vennesland (2009) também informaram que em duas referências (LAMBERT et al., 1991; ALONSO et al., 2000) foram relatados potenciais eletroquímicos das barras de aço inferiores a -200 mV vs SCE, o que resultou em teores críticos de cloreto mais elevados do que nas demais publicações.

Pereira (2009) apresentou duas tabelas comparativas com os limites de cloretos. A primeira (Tabela 3) contempla os valores para concreto armado e protendido apresentados por normas do Brasil, da Espanha, Inglaterra, Portugal, Europa, EUA e Nova Zelândia. A segunda (Tabela 4) apresenta valores estudados por diversos autores, diferenciando os cloretos livres dos totais e por tipo de exposição (laboratório ou ar livre).

Tabela 3 - Limites máximos de cloretos admitidos em diversas normas

País	Norma	Ano	Limite máximo de cloretos totais		
			Concreto armado	Concreto protendido	Referência
Portugal	ENV 206	1992	0,40%	0,20%	Cimento
Europa	CEB	1992	0,05%	0,025%	Concreto
	CEB - FIP	1992	0,40%	0,20%	Cimento
EUA	ACI - 222	1996	0,10% ⇒ em ambiente úmido	0,08%	Cimento
			0,20% ⇒ em ambiente seco		
Inglaterra	BS 8110	1997	0,35%	-	Cimento
EUA	ACI - 318	2001	0,30% ⇒ em ambiente normal	0,06%	Cimento
			0,15% ⇒ em ambiente com cloreto		
			1,00% ⇒ em ambiente seco		
Brasil	NBR 14832	2002	0,15% ⇒ exposto a cloretos	0,06%	Cloretos livres
			0,40% ⇒ em ambiente seco		
			0,30% ⇒ outras exposições		
Nova Zelândia	NZS3101	2005	0,8kg/m³ ⇒ em ambiente exposto à umidade ou a cloretos	0,5 kg/m³	Concreto
			1,6kg/m³ ⇒ em ambiente seco ou protegido da umidade		
Europa	NP EN 206-1	2007	0,20 a 0,40 %	0,10 a 0,20 %	Cimento
Espanha	EHE	2008	1,0 g/L	2,0 g/L	Água
			0,05%	0,03%	Agregado seco
			0,20%	0,40%	Concreto

FONTE: Autores, adaptado de Pereira (2009)

Como se pode observar na Tabela 3, para cada norma os teores limites variam entre porcentagem de cloretos totais sobre o peso de cimento, sobre o concreto ou água. Para o concreto armado o limite de cloretos totais variou de 0,10 a 1,00% sobre a massa de cimento conforme o tipo de ambiente a que o concreto está exposto. Para o concreto protendido, a variação é de 0,06 a 0,20% em relação à massa de cimento.

Na Tabela 4, o valor limite de cloretos totais varia de 0,09 a 2,50% em relação à massa de cimento. Os resultados apresentados para exposição ao ar livre foram próximos entre si (de 0,30 a 0,71% em massa de cimento), enquanto os resultados de laboratório apresentaram grande variação; com amplitude de 2,41 pontos percentuais.

Tabela 4 - Limites máximos de cloretos no concreto segundo diversos autores

Autor	Ano	Tipo de exposição	Limites de cloreto totais	Referência
Stratful *et al.*	1975	Ao ar livre	0,30 a 0,71 kg/m³	Concreto
Henriksen	1993	Ao ar livre	0,30 a 0,70 %	Cimento
Tutti	1993	Laboratório	0,50 a 1,40 %	Cimento
Isaias	1995	Laboratório	0,40%	Cimento
M. Thomas	1996	Ao ar livre	0,50 a 0,70 %	Cimento
Hope & Ip	1997	Laboratório	0,09 a 0,19 %	Cimento
Cascudo	1997	Laboratório	0,40%	Cimento
Glass & Buenfeld	1997	Laboratório	0,15 a 2,50 %	Cimento
Sandberg	1999	Laboratório	0,60 a 1,15 %	Cimento resistente a sulfatos
			0,30 a 1,20 %	Cimento resistente a sulfatos com adições
Trejo Pillai	2003	Laboratório	0,30 a 0,71 kg/m³	Concreto

FONTE: Autores, adaptado de Pereira (2009)

Xu et al. (2010) estudaram também a influência dos tipos de cloretos na determinação do teor crítico de cloreto. Para amostras com adição de cloreto na água de mistura, os intervalos obtidos de teor crítico de cloreto, expressos em cloretos totais por massa de cimento, foram de 0,62 a 1,12 quando utilizado NaCl e de 0,46 a 0,96 quando utilizado $CaCl_2$. Enquanto que para as amostras endurecidas submetidas a exposição de cloretos os resultados foram 0,71 para as amostras com NaCl e 0,70 para as amostras com $CaCl_2$.

Sobre publicações com relação aos teores limites de cloretos, expressos em cloretos totais, ainda cabe acrescentar que:

- Concentrações de cloreto iguais ou maiores do que 700 mg/L despassivam o aço imerso em água de cal (pH=12,5) (HAUSMANN, 1987 apud HELENE, 1986).
- Em 1992, Andrade apud Polito (2006) citou que o valor geralmente aceito era o de 0,4% em relação à massa de cimento ou 0,05 a 0,1% em relação à massa do concreto.
- Em 2011, Yu et al. afirmaram que os recentes estudos comprovam que o limite varia de 0,20 a 3,04% da massa de cimento ou de 0,80 a 12,16 kg por metro cúbico de concreto.
- Trejo & Pillai (2003, apud Pereira, 2009) argumentam que o valor limite de cloretos não deve ser adotado como um valor fixo, pois ele depende da proporção dos materiais que compõem o concreto, do tipo de cimento e do tipo dos materiais, da presença de aditivos, de fatores do ambiente, das condições de superfície da armadura, entre outros fatores.

3.1.2 Resultados expressos em relação [Cl-]/[OH-]

Segundo Yu et al. (2001), tanto o [Cl-] quanto o [Cl-]/[OH-] podem ser usados para expressar o valor limite de cloretos. De acordo com Mehta & Monteiro (1994), a armadura pode ser despassivada, mesmo com o pH acima de 11,5, dependendo da relação [Cl-]/[OH-]. Para uma relação superior a 0,60 o aço não está mais protegido contra corrosão provavelmente porque o filme de óxido se torna permeável ou instável nestas condições (POLITO, 2006).

Com relação aos resultados expressos em relação [Cl-]/[OH-], Angst & Vennesland (2009), demonstram que os valores variam de 0,03 a 45, ou seja, há ainda maior dispersão do que aquela dos resultados expressos em cloretos totais. Ainda segundo os autores, com a análise desses valores observa-se que, em comparação aos experimentos com soluções, os estudos com argamassa ou concreto apresentaram maiores dispersões. Destes estudos também resultaram maiores valores limite de cloreto. Isto está relacionado à influência da interface aço-concreto nos resultados.

Angst & Vennesland (2009) também acrescentam que as publicações de Breit (1998) e Li & Sagüés (2001) apresentam que os intervalos de teor limite de cloreto expresso em relação [Cl-]/[OH-] são maiores quando maior o pH da solução de poros.

Dos estudos de Xu et al. (2010), também foram obtidos os valores (ou intervalo de valores) expressos na relação Cl-/OH-, que não coincidem com nenhum dos valores da seleção apresentada por Angst e Vennesland (2009). Para amostras com adição de cloreto na água de mistura, os intervalos obtidos de teor crítico de cloreto, expressos na relação Cl-/OH-, foram de 1,80 a 5,30 quando utilizado NaCl e de 1,10 a 2,80 quando utilizado $CaCl_2$. Enquanto que, para as amostras endurecidas submetidas a exposição de cloretos, os resultados foram 3,20 para as amostras com NaCl e 4,40 para as amostras com $CaCl_2$.

Na Tabela 5 pode-se verificar valores limites de cloretos provenientes de ensaios com aplicação de cloretos na agua de amassamento da mistura.

Tabela 5 - Resultados de valores limites de cloretos provenientes de ensaios com aplicação de cloretos na água de mistura do concreto e com cimento OPC

Referência	Ano	Limite máximo de cloretos totais	Referência
Richartz	1969	0,40%	Cimento
Locke *et al.*	1980	0,40 a 0,80 %	
Elsener *et al.*	1986	0,25 a 0,50 %	
Hope *et al.*	1987	0,10 a 0,19 %	
Alonso *et al.*	2000	1,24 a 3,08 %	
Xu *et al.*	2010	0,46 a 1,12 %	

FONTE: Autores, adaptado de Angst & Vennesland (2009)

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dos dados apresentados neste trabalho, considera-se que:

1. Não há um valor consolidado para o teor limite de cloreto, expresso em cloretos totais em massa de cimento ou em relação Cl-/OH-, pois todos os estudos resultaram em valores ou intervalo de valores distintos.
2. Comparando apenas os resultados das publicações que adotaram a aplicação de cloretos na água de mistura do concreto, bem como utilizaram o cimento OPC (Ordinary Portland Cement), ainda assim existe dispersão entre os resultados, que variam de 0,1 a 3,08, conforme pode ser verificado na Tabela 5. Ou seja, além destes fatores, existem outros que interferem nos resultados.
3. Comparando os resultados expostos na Tabela 4, observa-se que há variação dos valores limites para concretos expostos ao ar livre ou ensaiados em laboratório, comprovando que muitos testes realizados podem não representar a realidade.
4. Os estudos de Xu et al. (2010) comprovam que a fonte de cloretos (interna ou externa) influencia os resultados de teor limite de cloretos para a despassivação das armaduras.
5. Angst e Vennesland (2009) não analisaram nessa etapa do estudo a influência dos tipos de sais de cloreto (NaCl ou $CaCl_2$) adotados pelas publicações. Xu et al. (2010) também comprovam essa influência nos resultados.
6. As normas vigentes não apresentam padronização na expressão do teor limite de cloretos e nem consenso nos valores limites de cloretos totais. De acordo com Yu et al. (2001), os valores limites são dispersos pois são baseados em parâmetros variáveis, como diferentes tipos de aço, distintas técnicas para identificar o início da corrosão, exposição ao meio ambiente.
7. Especialistas em corrosão ainda não concordaram com um método apropriado para determinar a concentração de cloretos dissolvidos que inicia a corrosão. Segundo Angst & Vennesland (2009), os principais fatores de influência identificados pelos estudos já realizados são a qualidade da interface aço-concreto, o pH da solução de poro, e o potencial eletroquímico do aço. Outros

fatores de influência importantes são o teor de umidade no concreto, o tipo de cimento, a relação água/cimento e a temperatura.

5. REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI commitee 222R – 01: **Corrosion of Metals in Concrete**, 2001.

ANGST, U.; VENNESLAND, O. **Critical chloride content in reinforced concrete – State of the art**. In: Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting II – Alexander et al (eds). Taylor & Francis Group, London, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados – Agregados para concreto – Especificação. Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14832:** Cimento Portland e clinquer – Determinação de cloreto pelo método de íon seletivo – Especificação . Março, 2002.

BROMMFIELD, J. P. **Corrosion of steel in concrete – Understanding, investigation and repair.** Londres: E& FN SPON, 1997.

CHUNLEI G, YONGMO Xu, DUAN W, XIAODONG Wu. A time-saving method to determine the chloride threshold level for depassivation of steel in concrete. Construction and Building Materials. Elsever. Jan. 2010.

GLASS, G. K. ; HASSANEIN, N.M.; BUENFELD , N.R. **Neural network modeling of chloride binding. Magazine of Concrete Research.** V 49, n. 181, p. 323, Dec. 1997.

HELENE, P. **Contribuição ao Estudo da Corrosão em Armaduras de Concreto Armado.** Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 271 p. São Paulo, 1993.

HELENE, P. **Corrosão em armaduras para concreto armado.** Pini: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 46p. São Paulo, 1986.

NORMA EUROPÉIA. **NP EN 206-1.** Betão – Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade. Caparica, 2007.

PEREIRA, E. **Avaliação do processo de corrosão acelerada para diferentes dosagens de concreto e espessuras de cobrimento.** Trabalho de conclusão de curso, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2009.

PFEIFER, D. W.; PERENCHIO, W.F.; HIME, W. G. **A critique of the limits ACI 318 Chloride Limits.** In: PCI Journal. March-April, 1992.

POLITO, G. **Corrosão em estruturas de concreto armado: causas, mecanismos, prevenção e recuperação.** Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

SILVA, E. P. **Avaliação do potencial de corrosão de concretos estruturais produzidos segundo as prescrições da NBR 6118, submetido a ensaio de corrosão acelerado.** Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

SIQUEIRA, H.C. **Penetração de cloretos em concretos compostos com cimento Portland branco e escória de alto forno, ativados quimicamente.** 2008. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria – RS – 2008.

XU, Jinxia; JIANG, Linhua; WANG, Weilun e JIAN, Yu. **Influence of $CaCl_2$ and NaCl from different sources on chloride threshold value for corrosion of steel reinforcement in concrete.** In: Construction and Building Materials. Ed. Elsevier. Ago. 2010.

YU, Hui; CHIANG, Kuang-Tsan K.; YANG, Lietai. **Threshold chloride level and characteristics of reinforcement corrosion initiation in simulated concrete pore solutions.** In: Construction and Building Materials. Ed. Elsevier. Jul. 2011.