



DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES INSERIDAS EM AMBIENTE MARINHO: INFLUÊNCIA DO REVESTIMENTO DE ARGAMASSA NA PENETRAÇÃO DE CLORETOES EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

Raphaele de L. M. de C. Malheiro (1); Munique Silva de Lima (2); Gibson Rocha Meira (3); Normando Perazzo (4)

- (1) Departamento de Engenharia Civil – Escola de Engenharia – Universidade do Minho, Portugal –
e-mail: raphaele.lira@yahoo.com.br
- (2) Departamento de Construção Civil – Centro Federal de Educação Tecnológica da Paraíba, Brasil –
e-mail: munique10@gmail.com
- (3) Departamento de Construção Civil – Centro Federal de Educação Tecnológica da Paraíba, Brasil –
e-mail: gibsonmeira@yahoo.com
- (4) Departamento de Construção Civil – Escola de Engenharia – Universidade Federal da Paraíba,
Brasil – e-mail: nperazzo@yahoo.com.br

RESUMO

A durabilidade das construções inseridas em ambientes marinhos pode ser diretamente associada à ação dos íons cloreto. É fato notório que a maioria destas construções encontra-se revestida por algum tipo de material. Assim sendo, optou-se por estudar a influência do revestimento de argamassa na durabilidade das estruturas de concreto. Para tanto, foram moldados corpos-de-prova (CP) prismáticos em concreto nas dimensões de 8 x 8 x 8 cm e relação água/cimento 0,55. Nestes CP, aplicou-se uma fina camada de chapisco e, vencido o seu período de cura, os mesmos foram revestidos com três diferentes dosagens de argamassa. Passados 28 dias de cura ao ar em ambiente de laboratório, os CP tiveram cinco faces isoladas com resina epóxi para que, quando submetidos aos ensaios acelerados, simulasse um fluxo unidirecional dos cloretoes. Em seguida, os CP foram submetidos a ensaios acelerados de difusão natural em solução de cloreto de sódio (1,0 M), durante um período de 49 dias. Ao final dos ensaios, foram obtidos perfis de cloretoes, com amostras extraídas a cada cinco milímetros, na direção superfície-interior. Estes perfis foram modelados, com base na 2ª Lei de Fick, e a análise dos resultados indica que as argamassas de revestimento aplicadas sobre um substrato de concreto podem exercer um papel protetor complementar sobre estas estruturas, em relação ao transporte de cloretoes. Esse efeito é mais significativo para as argamassas com dosagens mais ricas em cimento e menos porosas. Deste modo, este tipo de revestimento pode conferir, à construção, um incremento em sua durabilidade, estando tal incremento relacionado à dosagem utilizada.

Palavras-chave: Ambiente marinho, argamassa, cloretoes, concreto, durabilidade.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Estado da arte

É fato que as estruturas em concreto armado devem ser feitas para ser duráveis. De acordo com as normas portuguesas, por exemplo, o tempo de vida útil das estruturas em concreto armado varia entre 10 e 100 anos, tendo em conta o grau de importância da mesma (E465, 2004). Apesar disso, o que tem acontecido nos últimos anos em todo mundo é uma degradação cada vez mais precoce, e aquém da vida útil destas estruturas.

Vários são os fatores que podem conduzir a tal panorama, fatores esses que vão desde a má execução das estruturas até o ambiente no qual estas se encontram inseridas. Dentre eles, a ação dos íons cloreto é, provavelmente, o fenômeno mais devastador que atinge as estruturas construídas com concreto usual (AITCIN, 2000). Estes íons podem penetrar no interior do concreto através de diversas fontes. Porém, para este estudo, é importante destacar a contaminação através da névoa salina (maresia) e do contato direto com a água do mar.

Os cloretos podem ser encontrados no concreto sob três formas distintas: quimicamente ligados ao aluminato tricálcio (C_3A), adsorvidos na superfície dos poros do concreto ou sob a forma de íons livres na solução dos poros (MOHAMMED e HAMANA, 2003). Dentre estas, somente os cloretos na forma livre possuem mobilidade para despassivar e deflagrar os mecanismos da corrosão. Desta forma, uma vez inseridos no concreto, os cloretos livres podem ser transportados através de mecanismos de transporte como absorção capilar, difusão, migração e permeabilidade. A 2^a Lei de Fick tem sido empregada para representar o transporte de cloretos por difusão, cuja solução é mostrada na eq. 1.

$$C(x,t) = C_s \left[1 - erf\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) \right] \quad (\text{eq. 1})$$

$C(x,t)$ - concentração de cloretos a uma profundidade x e tempo de exposição t ;

C_s - concentração superficial de cloretos;

D - coeficiente de difusão aparente.

Vários autores têm estudado a ação dos cloretos em materiais cimentícios visando a compreensão e posterior terapia das patologias dela proveniente. De uma forma geral, esses estudos ocorrem através da análise destas estruturas através de diversas formas de exposição do concreto e/ou da argamassa, como por exemplo: em ambientes criados por ensaios acelerados, comuns por permitirem pesquisas a curto prazo (JENSEN, 1999; MONTEIRO *et al.*, 2003; PEREIRA *et al.*, 2005; TONG e GJØRV, 2001); em condições naturais de exposição (CASTRO *et al.*, 2001; MEIRA, 2004); e, até mesmo, em comparações entre ambiente natural e de laboratório, caso estudado por Oh (2006) e Lindvall (2006). Vários também são aqueles que trabalham com a modelagem do fenômeno (ANDRADE *et al.*, 2007; GUIMARÃES e HELENE, 2009).

A grande maioria das obras de concreto armado inseridas no perímetro urbano tem a utilização deste material aliada a vários tipos de revestimento que podem funcionar como barreira física para penetração dos íons cloreto, oriundos da névoa salina ou do contato direto com a água do mar, mesmo não tendo esta função como foco principal. Apesar dos estudos realizados em concreto e argamassa separadamente, não se conhece bem o comportamento conjunto desses materiais em relação ao transporte de cloretos. Nesse sentido, tomando como base o efeito pele, Andrade *et al.* (1997) propuseram as eq. 2-4 como solução para o transporte por difusão em materiais com características de transporte diferentes entre a superfície e o interior. Contudo, estudos experimentais sobre o transporte de cloretos em materiais compostos por distintas camadas ainda são raros.

$$C_1 = C_s \sum_{n=0}^{\infty} \alpha^n \left(erfc \left[\frac{2ne+x}{2\sqrt{D_l t}} \right] - \alpha erfc \left[\frac{(2n+2)e-x}{2\sqrt{D_l t}} \right] \right) \quad (\text{eq. 2})$$

$$C_2 = \frac{2kC_s R}{k+1} \sum_{n=0}^{\infty} \alpha^n erfc \left[\frac{(2n+1)e+k(x-e)}{2\sqrt{D_l t}} \right] \quad (\text{eq. 3})$$

$$C_1 = RC_2 \quad (\text{eq. 4})$$

Com base no exposto acima, o presente trabalho se propõe a por estudar a relação entre a penetração de cloretos em argamassas de revestimento e a sua influência na durabilidade da estrutura revestida, permitindo, assim, análises mais próximas da realidade e, consequentemente, soluções mais eficazes para os casos de manifestações patológicas em concreto que envolvam a ação deletéria desses íons.

2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é avaliar, através de ensaios acelerados, a influência da argamassa de revestimento sobre a penetração de cloretos nas estruturas de concreto.

3 METODOLOGIA

3.1 Pesquisa de Campo

A fim de definir as dosagens de argamassa de revestimento externo, usualmente empregadas na cidade de João Pessoa, Brasil, foi realizada uma pesquisa de campo através da aplicação de questionários. As obras selecionadas se encontravam nos principais bairros litorâneos da cidade definidos como amostra e inseridas numa faixa de 500m a partir do mar. Essa região, segundo Meira (2004), representa, com boa aproximação, aquela de maior presença do agente agressivo estudado na região pesquisada (Figura 1). Os questionários envolveram essencialmente os tipos de argamassa empregadas em revestimento de fachada e sua composição, embora outros aspectos complementares tenham sido abordados.

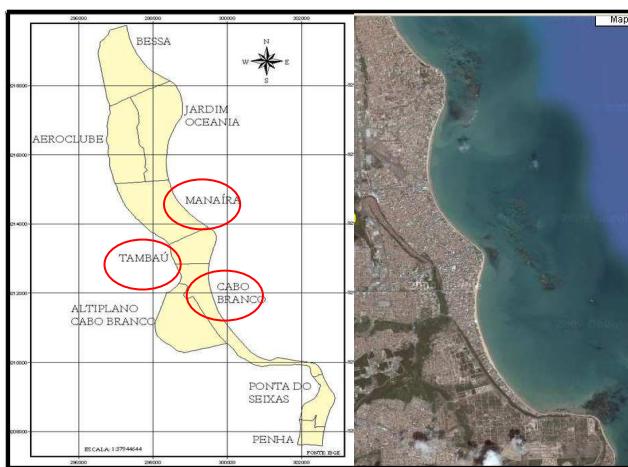


Figura 1 – Localização dos bairros em estudo dentro da faixa litorânea da cidade de João Pessoa, Brasil

3.2 Procedimento experimental

A fim de caracterizar os materiais utilizados durante a pesquisa foram realizados ensaios normalizados segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Estes ensaios englobaram o concreto, a argamassa e seus insumos. Os corpos-de-prova (CP) utilizados na pesquisa foram desenvolvidos com o objetivo de simular, em laboratório, o uso do revestimento argamassado externo das edificações.

Para tanto, a confecção destas amostras se deu em três etapas: moldagem do substrato (concreto), execução da ponte de aderência (chapisco) e aplicação do revestimento ao substrato (argamassa). Também foram moldados CP de referência em concreto com o objetivo de promover futuras comparações com os CP revestidos.

Inicialmente, foram moldados substratos em concreto, prismáticos, nas dimensões 8x8x8cm, utilizando cimento CP V ARI, relação água/cimento 0,55 e impondo um período de cura ao ar de 120 dias. Os CP de referência também foram moldados com as mesmas características. Em seguida, os CP utilizados como substrato foram limpos por escovação manual, chapiscados e permaneceram em repouso por mais 3 dias para que se pudesse aplicar a argamassa de revestimento. É válido ressaltar que o uso do CP V ARI está relacionado ao seu baixo nível de adições, já a escolha da relação água/cimento e do período de cura ao ar estão relacionados a práticas frequentemente utilizadas na região.

Após o repouso do chapisco, a argamassa de revestimento foi aplicada em espessura única, de 2,5cm, e em três dosagens diferentes: 1:3, 1:1:6, e 1:2:9 (dosagens expressas em volume). Para cada situação, foram moldados 3 CP. Passados 28 dias de repouso, após a aplicação da argamassa, os CP receberam uma pintura epóxi em cinco de suas faces, deixando apenas uma face livre para a penetração dos íons cloreto durante os ensaios. As principais etapas de preparação dos CP podem ser vistas na Figura 2.

Depois de moldados, os CP foram submetidos ao ensaio de difusão natural. Neste ensaio, os CP passaram o período, de 49 dias, imersos em solução 1 M de NaCl em recipientes armazenados em ambiente de laboratório. A escolha desse período de exposição se deu em função da busca de compatibilizar o tempo de penetração de cloretos no concreto e na argamassa, uma vez que estes materiais possuem características de transporte bastante distintas. É importante lembrar que os CP de referência foram submetidos às mesmas condições impostas aos CP com sistema duplo.

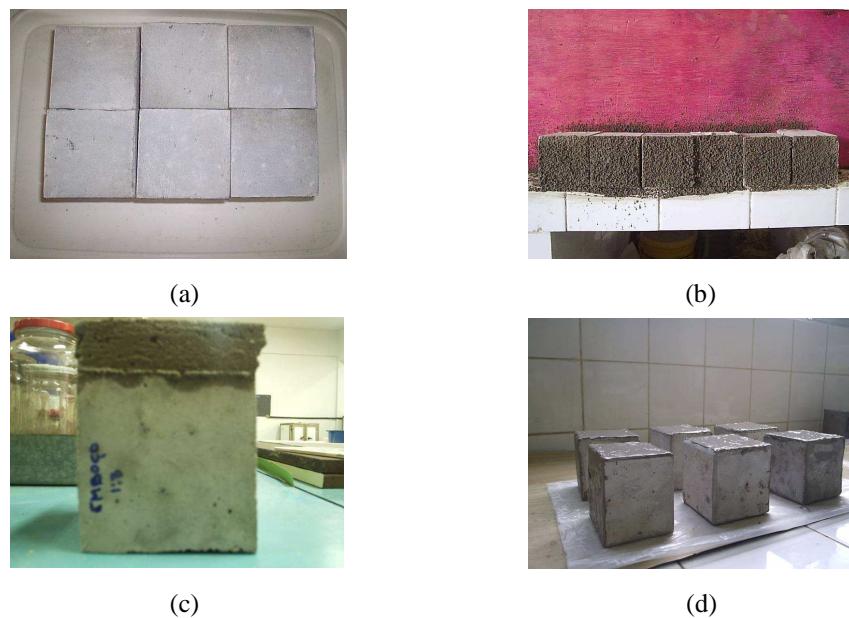


Figura 2 – Preparação dos corpos de prova: substratos escovados (a), chapiscados (b), revestidos com argamassa (c) e pintados com epóxi (d)

Ao saírem de ensaio, os CP foram marcados de acordo com a profundidade desejada e cortados a cada 5mm no sentido superfície-interior, com espessura de corte reduzida para 0,25mm próximo à interface dos CP revestidos, a fim de que se pudessem obter resultados mais precisos nesta região. A Figura 3 mostra, esquematicamente, a distribuição dos cortes nos CP.

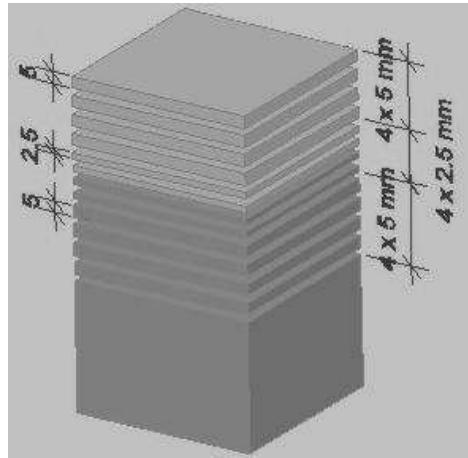


Figura 3 – Esquema de distribuição dos cortes no sistema duplo com 25mm de revestimento

De posse das amostras pulverizadas, os teores de cloretos totais foram determinados a partir da técnica de titulação potenciométrica, de acordo com a ASTM C1152 (ASTM, 1994).

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Pesquisa de campo

Tendo em vista os resultados obtidos com a aplicação do questionário em campo, o que se verifica é o uso maciço da argamassa dosada em obra em detrimento à argamassa industrializada, argamassa esta que possui frequente utilização em grande parte do mundo (MALHEIRO, 2008). Foram obtidos resultados que indicam 96% de utilização da argamassa dosada em obra e apenas 4% de uso da argamassa industrializada, no período de realização da pesquisa.

Com relação à dosagem utilizada no emboço foi detectada uma imensa variedade em uso, fato que impossibilita definir qualquer tendência. Contudo, optou-se por estudar argamassas nos traços 1:3, 1:1:6 e 1:2:9. Tal escolha se justifica à medida que se mantém a proporção aglomerante/agregado das argamassas dosadas em obra em 1:3, comum em trabalhos já publicados sobre o tema (CINCOTTO e CARNEIRO, 1999; QUARCIONE E CINCOTTO; 2005), além de serem argamassas empregadas na região.

4.2 Caracterização dos materiais

A titulação potenciométrica foi o método utilizado para determinar o teor de cloretos existente na água utilizada em laboratório. Tal análise química mostrou que a amostra de água em estudo apresentou 1,075 mg/l de Cl⁻ em sua composição. Este valor ainda é irrelevante dentro das questões tratadas no escopo desta pesquisa.

No que diz respeito aos agregados empregados na produção do concreto e das argamassas dosadas em laboratório, foram utilizadas a pedra granítica britada, para o agregado graúdo e areia natural quartzosa, para o agregado miúdo. Suas características são apresentadas na Tabela 1 e a curva granulométrica do agregado miúdo pode ser vista na Figura 4.

Tabela 1 – Propriedades físicas, impurezas e contaminações relacionadas aos agregados utilizados

	Agregado miúdo	Agregado graúdo
Massa Unitária (Kg/dm ³)	1,672	1,404
Massa Específica (g/cm ³)	2,590	2,600
Módulo de Finura	2,210	---
Impurezas Orgânicas	Ok	Ok

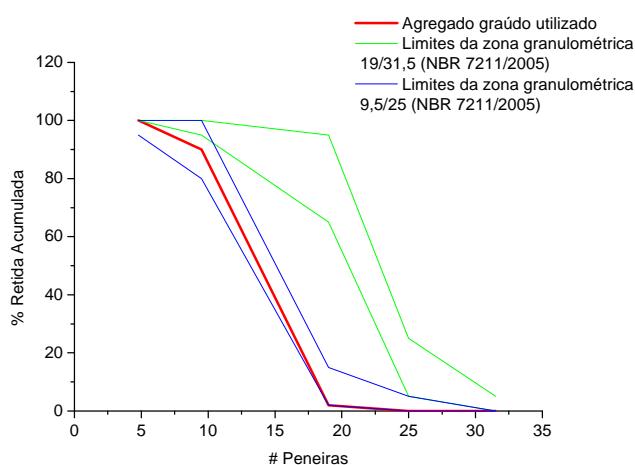


Figura 4 – Curva granulométrica relativa do agregado miúdo utilizado

No que diz respeito à cal e ao cimento empregados, sua caracterização físico-química é apresentada nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Características físicas e químicas da cal CH I

	Propriedade Determinada	Resultado
Caracterização Física	Massa unitária	0,416 Kg/dm ³
	Massa Específica	2,417 g/cm ³
	Perda ao Rubro (Pr)	27,49 %
	Óxido de Silício (SiO ₂)	0,44 %
	Resíduo Insolúvel (RI)	0,12 %
	Óxido de Ferro (Fe ₂ O ₃)	0,08 %
Caracterização Química	Óxido de Alumínio (Al ₂ O ₃)	traços
	Óxido de Cálcio (CaO)	67,76 %
	Óxido de Magnésio (MgO)	2,82 %
	Óxido de Sódio (Na ₂ O)	0,18 %
	Óxido de Potássio (K ₂ O)	0,05 %

Tabela 3 – Características físicas e químicas do CPV ARI

As características do concreto e argamassa no estado endurecido, são apresentadas nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 – Dados relativos à absorção, dosagem e características do concreto nos estados fresco e endurecido

Características do Concreto nos Estados Fresco e Endurecido

Dosagem (cimento: areia: pedra)	1: 2,52: 2,41
Consumo de cimento (Kg/m ³)	370
Consistência pelo abatimento do tronco de cone (cm)	7
Resistência à compressão – fc 28 (Mpa)	30,43
Resistência à tração – ft 28 (Mpa)	1,97

Absorção Capilar

Absorção de água por capilaridade (g/cm^2) 1,43

Absorção total

Absorção após saturação em água (%)	4,86
Índice de vazios após saturação em água (%)	10,95
Massa específica da amostra seca (g/cm^3)	2,25
Massa específica da amostra saturada (g/cm^3)	2,36
Massa específica real (g/cm^3)	2,53

Tabela 5 – Dados relativos à absorção total e à caracterização da argamassa no estado fresco e endurecido

Argamassa	Relação água/cimento (em massa)	Resistência à compressão (MPa)	Ar incorporado (%)
1:3	0,6	23,59	2
1:1:6	0,83	11,82	2
1:2:9	1,11	5,65	4
Absorção Total			
Argamassa	1:3	1:1:6	1:2:9
Absorção apóis saturação em água (%)	8,24	10,40	11,33
Índice de vazios apóis saturação em água (%)	18,19	22,13	23,72
Massa específica da amostra seca (g/cm³)	2,21	2,13	2,09
Massa específica da amostra saturada (g/cm³)	2,39	2,35	2,33
Massa específica real (g/cm³)	2,70	2,73	2,74

4.3 Influência da argamassa de revestimento no transporte de cloretos no concreto

Os perfis de cloretos apresentados na Figura 5, foram ajustados com base na 2ª Lei de Fick, considerando camadas de materiais com propriedades distintas, de acordo com procedimento descrito por Andrade *et al.* (1997). A partir destes perfis pode-se dizer que as argamassas estudadas, utilizadas como revestimento, se comportam de forma diferenciada com relação à penetração de cloretos. Observa-se que, quanto mais rica em cimento é a argamassa, menor é a concentração de cloretos verificada na região do revestimento. Esta relação está intimamente ligada à redução de porosidade das argamassas mais ricas e a maior quantidade de C₃A, decorrente do maior consumo de cimento.

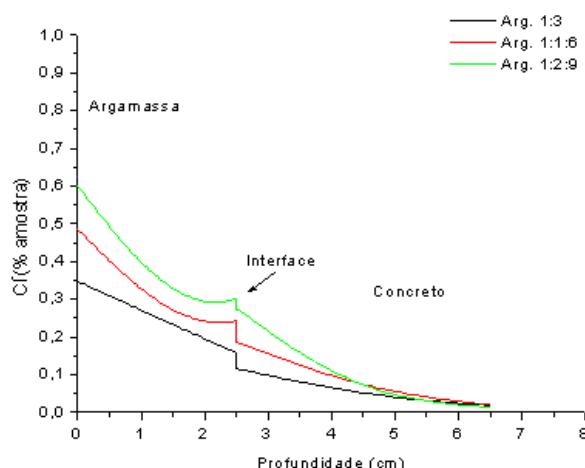


Figura 5 – Perfis de cloretos no concreto obtido através do ensaio de difusão natural para CP com revestimento e para os CP de referência

Com relação à porosidade, a Tabela 5 mostra resultados de resistência à compressão que, juntamente com os resultados de absorção total, apontam para um aumento de porosidade da argamassa 1:3 para a argamassa 1:2:9. A relação água/cimento (Tabela 5) é outra variável que corrobora essa idéia, concordando com outros trabalhos publicados (JENSEN *et al.*, 1999; SILVA, 2003; TONG e GJØRV, 2001).

No que se refere ao teor de C₃A, o maior consumo de cimento significa maior quantidade de C₃A disponível para colaborar na fixação dos íons cloreto na matriz (OH e JANG, 2007). Esta maior capacidade de fixação reduz a quantidade de cloretos livres, que são os que efetivamente participam do transporte, e, consequentemente, gera perfis de cloretos com concentrações mais amenas.

Com relação à influência dessas diferentes dosagens no transporte de cloretos no concreto, pode-se dizer que as diferenças de comportamento observadas na camada de argamassa possuem influência direta nos resultados obtidos na camada de concreto. A Figura 5 mostra que existe uma sintonia entre os perfis de cloretos na camada de revestimento e aqueles na camada de concreto, ou seja, se chegam menos cloretos na interface entre os materiais, menos serão transportados no interior do concreto.

Além disso, a análise da Figura 6, também ajustada segundo procedimento descrito por Andrade *et al* (1997), torna evidente que as argamassas de revestimento estudadas exercem um papel retardador na penetração de cloretos no concreto, basta comparar o perfil de cloretos relativo aos CP de referência com aqueles relativos aos CP revestidos. Esse papel é mais claro, para as argamassas de menor porosidade.

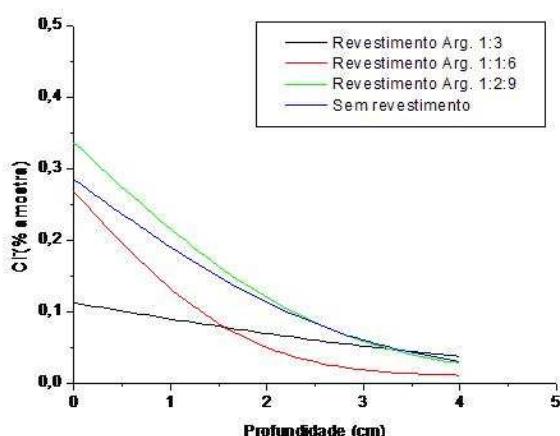


Figura 6 – Perfis de cloretos no concreto obtido através do ensaio de difusão natural para CP com revestimento e para os CP de referência

5 CONCLUSÃO

As argamassas de revestimento aplicadas sobre um substrato de concreto podem exercer o papel de proteção complementar sobre as estruturas de concreto, em relação ao transporte de cloretos, aumentando assim a durabilidade destas estruturas. Esse efeito assume maior significado para as argamassas de menor porosidade, como é o caso da argamassa na dosagem 1:3 (volume), uma vez que nestas o transporte se dá de forma mais lenta quando comparada as demais argamassas estudadas, quer em função de sua menor porosidade, quer em função de sua maior quantidade de C₃A.

6 REFERÊNCIAS

AITCIN, P. C. **Concreto de Alto Desempenho**. São Paulo: Pini, 2000. 667 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C-1152 (1994)

ANDRADE, C.; DIEZ, J. M.; ALONSO, C. Modelling of Skin Effects on Diffusion Process in Concrete. **Advn Cem Mat**, v. 6, p. 39-44, 1997.

CASTRO, P.; RINCON, O. T.; PAZINI, E. J. Interpretation of Chloride Profiles from Concrete Exposed to Tropical Marine Environments. **Cement and Concrete Research**, v. 31, p. 529-537, 2001.

CINCOTTO, M. A.; CARNEIRO, A. M. P. Discussão dos métodos de determinação da massa unitária de areia para argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3., 1999, Vitória. **Anais...** Vitória: SBTA, 1999. p. 59-68.

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL. LNEC E 465 (2007).

GUIMARÃES, A.T.C.; HELENE, P.R.L. Modelo para estimar a penetração de cloretos em concreto com perfil formando pico: verificação da sua precisão. **Revista Matéria**, v. 14, p. 983-992, 2009.

JENSEN, O. M.; HANSEN, P. F.; COATS, A. M.; GLASSER, F. P. Chloride ingress in cement paste and mortar. **Cement and Concrete Research**, v. 29, p. 1497-1504, 1999.

LINDVALL, A. Chloride ingress data from field and laboratory exposure – Influence of salinity and temperature. **Cement and Concrete Composites**, v. 29, p. 88-93, 2007.

MALHEIRO, R.L.C. **Influência do revestimento argamassado no transporte de cloretos em estruturas de concreto armado inseridas no meio urbano**. João Pessoa. 2008. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008.

MEIRA, G. R. **Agressividade por cloretos em zona de atmosfera marinha frente ao problema da corrosão em estruturas de concreto armado**. 2004. 369 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2004.

MOHAMMED, T. U.; HAMADA, H. Relationship between free chloride and total chloride contents in concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 33, p. 1487-1490, 2003.

MONTEIRO,E.B., et al. A técnica de extração eletroquímica de cloretos nova técnica de reabilitação de estruturas com problemas de corrosão . In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 45., 2003, Vitória. **Anais...** Vitória: IBRACON, 2003.

OH, B. H.; JANG, S. Y. Effects of material and environmental parameters on chloride penetration profiles in concrete structures. **Cement and Concrete Research**, v. 37, p. 47-53, 2007.

PEREIRA, L.F.L.C.; CINCOTTO, M.A. **Determinação de Cloretos em Concreto de Cimentos Portland** : influência do tipo de cimento. São Paulo: EPUSP, 2001. 19 p. (Boletim Técnico BT/PCC/294)

QUARCIONE,V.A.; CINCOTO,M.A. A influência da cal em propriedades mecânicas de argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 6., 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SBTA, 2005.

SILVA, D.A., et al. Argamassas intermediárias de cal e areia para revestimentos: efeitos das características da areia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 5., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBTA, 2003.

TONG, L.; GJØRV O. E. Chloride diffusivity based on migration testing. **Cement and Concrete Research**, v. 31, p. 973-982, 2001.

7 AGRADECIMENTOS

À equipe do Laboratório de ENSAIOS DE MATERIAIS E ESTRUTURAS da Universidade Federal da Paraíba (LABEME/UFPB) e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB) pelo auxílio no desenvolvimento das atividades gerais do projeto de pesquisa. Agradecemos também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico(CNPQ) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsas de estudos.