

Medição de grau de saturação em concreto: estação de Santa Pola - Espanha

André. T. C. Guimarães¹, Miguel Ángel Climent Llorca², Carlos Antón Gil², Guillem de Vera Almenar² & Estanislao N. Viqueira Pérez²

¹*Escola de Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS – atcg@vetorial.net*

²*Departamento de Engenharia de Construção, Obras Públicas e Infra Estrutura Urbana, Universidade de Alicante, Alicante, Espanha- ma.climent@ua.es*

RESUMO: Guimarães [3] desenvolveu método para medir o grau de saturação (GS) de estrutura de concreto armado em uso, através de testemunhos extraídos da própria estrutura. Para que modelos de variação do coeficiente de difusão de cloretos pudessem ser utilizados, Souza et al. [11] adaptaram o método de medição de GS em estrutura real para obter modelo de variação sazonal do GS em rack (Estação do Rio Grande-RS-Brasil). Peraça e Guimarães [8], utilizando quatro anos de medições de GS desta estação, formularam modelos da variação do GS em função de medições meteorológicas. Com o objetivo de formar uma rede para obter informações de outros ambientes costeiros e analisar o comportamento do GS, melhorando os modelos já propostos, foi instalada uma estação de medição de GS em Alicante – Espanha, descrita neste trabalho.

PALAVRAS-CHAVE: cloreto, difusão, grau de saturação, ambiente marítimo, obras costeiras

ABSTRACT: Guimarães [3] developed method to measure the saturation degree (SD) of structure of reinforced concrete in use, through extracted test specimens of the proper structure. So that models of variation of the chloride diffusion coefficient could be used, Souza et al. [11] had modified the method of measurement of SD in real structure to get model of sazonal variation of the SD in rack (Station of the Rio Grande-RS-Brazil). Peraça and Guimarães [8], using four years of measurements of SD of this station, had formulated models of the variation of the SD in function of meteorological measurements. With the objective to form a net to get information of other coastal environments and to analyze the behavior of the SD, improving the considered models already, were installed a station of measurement of SD in Alicante - Spain, described in this work.

KEYWORDS: chloride, diffusion, saturation degree, maritime environment, coastal structures

1. INTRODUÇÃO

Climent et al [2], Guimarães [3], Guimarães e Helene [4, 5] e Nielsen e Geiker [7] desenvolveram diferentes métodos para medir o coeficiente de difusão em concreto não saturado. Todos demonstram a grande dependência do coeficiente de difusão de íons cloreto em relação ao Grau de Saturação (GS).

Climent et al [2] e Guimarães e Helene [4] têm obtido com estes métodos, modelos de famílias de concreto, variando a relação a/c e a consistência para um mesmo tipo de cimento.

Para que estes modelos possam ser utilizados foi desenvolvido método para medir a variação sazonal de GS em concreto de estrutura real no extremo sul do Brasil [3]. Em 2003, este método foi adaptado para medição de GS em testemunhos expostos em rack na Estação do Rio Grande, da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande – RS – Brasil, de concretos que já haviam sido obtidos modelos da variação do coeficiente de difusão em função do GS [11]. Desta forma, com as medidas de GS do concreto, para um determinado ambiente e com o modelo de coeficiente de difusão em função do GS, pode-se através da segunda lei de Fick estimar com mais precisão a vida útil de projeto de uma estrutura localizada neste ambiente ou em outro similar.

Com o objetivo de formar uma rede para obter informações de outros ambientes costeiros e analisar o comportamento do GS, melhorando os modelos já propostos, foi instalada uma estação de medição de GS em Alicante – Espanha.

Neste trabalho é apresentada a estação para medição de GS instalada em Santa Pola – Alicante, pelo Departamento de Engenharia de Construção da Escola Politécnica Superior da Universidade de Alicante – Espanha e suas diferenças em relação à estação de Rio Grande.

2. ESTAÇÃO DO RIO GRANDE – RS - BRASIL

A estação de medição de GS de Rio Grande localiza-se no extremo sul do Brasil, pertencente a Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande - FURG (Fig. 1).

Em 2003 esta estação foi instalada para estudar a variação sazonal do GS em família de concreto utilizando cimento pozolânico (Fig. 2) [11].

Inicialmente foi estudado o comportamento do GS, como tipo de curva de distribuição dos dados, tamanho de amostragem, influência do tipo de concreto, tipo de superfície exposta em relação à superfície de concretagem e quanto ao tipo de micro-ambiente [11]. Em trabalho posterior foi analisada outra família de concreto com cimento de alta resistência inicial e resistente a sulfato [10].

Meira [6], utilizando o método de Guimarães [3], mediu GS em concretos expostos a diferentes distâncias da água do mar na costa do nordeste do Brasil. Entretanto Meira [6] utilizou corpos de prova moldados e Guimarães [3] utilizou testemunhos extraídos de blocos de concreto.

Após quatro anos de medição da variação do GS em concreto executado com cimento pozolânico, foi realizado estudo com objetivo de determinar modelos para estimativa do GS em função de variáveis meteorológicas [8, 9]. Atualmente este mesmo estudo está sendo realizado com a família de concreto executada com cimento de alta resistência inicial e resistente a sulfato, por discente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica da Escola de Engenharia - FURG.

Outro estudo que está sendo realizado nesta estação é quanto ao ataque por cloreto e carbonatação nos testemunhos expostos a mais de cinco anos, como é o caso dos testemunhos executados com cimento pozolânico.

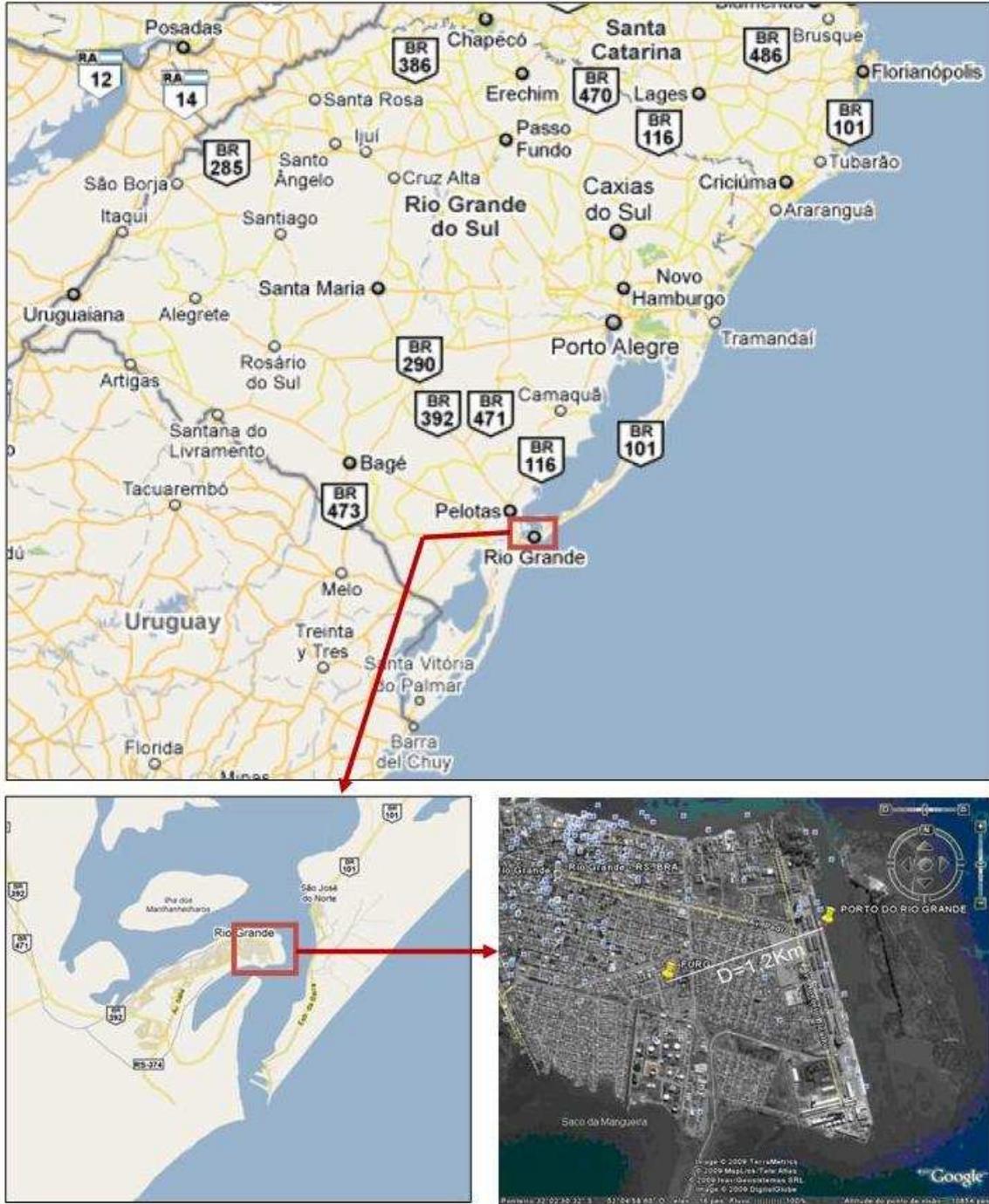


FIGURA 1 – Localização da estação de medição de GS da Escola de Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande - Rio Grande – RS - Brasil

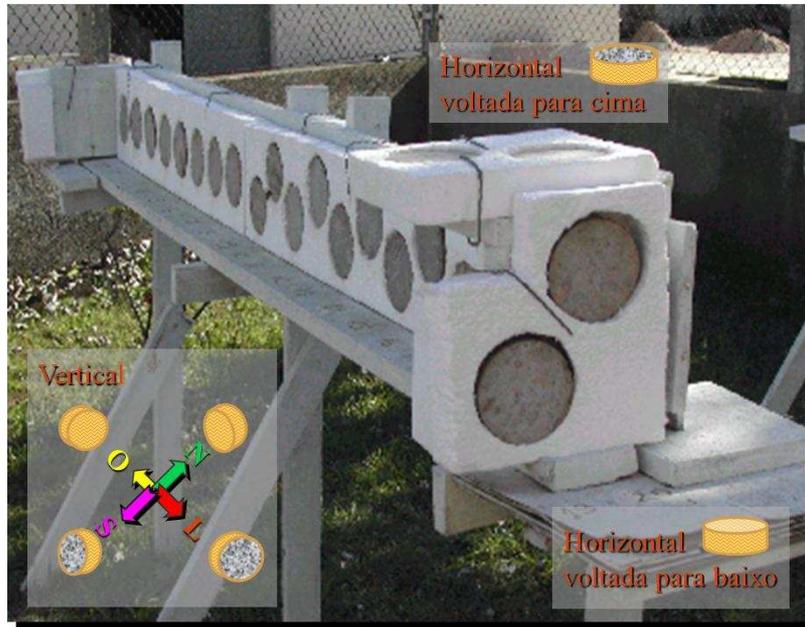


FIGURA 2 – Estação de medição de GS do Rio Grande –RS - Brasil [11]

3. ESTAÇÃO DE SANTA POLA – ALICANTE – ESPANHA

A Fig. 3 mostra a localização da estação de Santa Pola, no centro de investigação CIMAR da Universidade de Alicante.

A localização da estação de Santa Pola apresenta algumas características semelhantes em relação à Estação do Rio Grande:

- a água do mar fica a leste;

- estão aproximadamente equidistantes da linha do Equador, sendo que a Estação do Rio Grande esta localizada a $-32.040495, -52.087888$ e a Estação de Santa Pola esta localizada a $38.209295, -0.509035$.

Estes aspectos podem facilitar a comparação de modelos. Em relação à umidade relativa, precipitações e temperaturas há diferenças. Aparentemente as temperaturas em Rio Grande são um pouco menores tanto no inverno como no verão, enquanto que a umidade relativa e as precipitações são maiores.

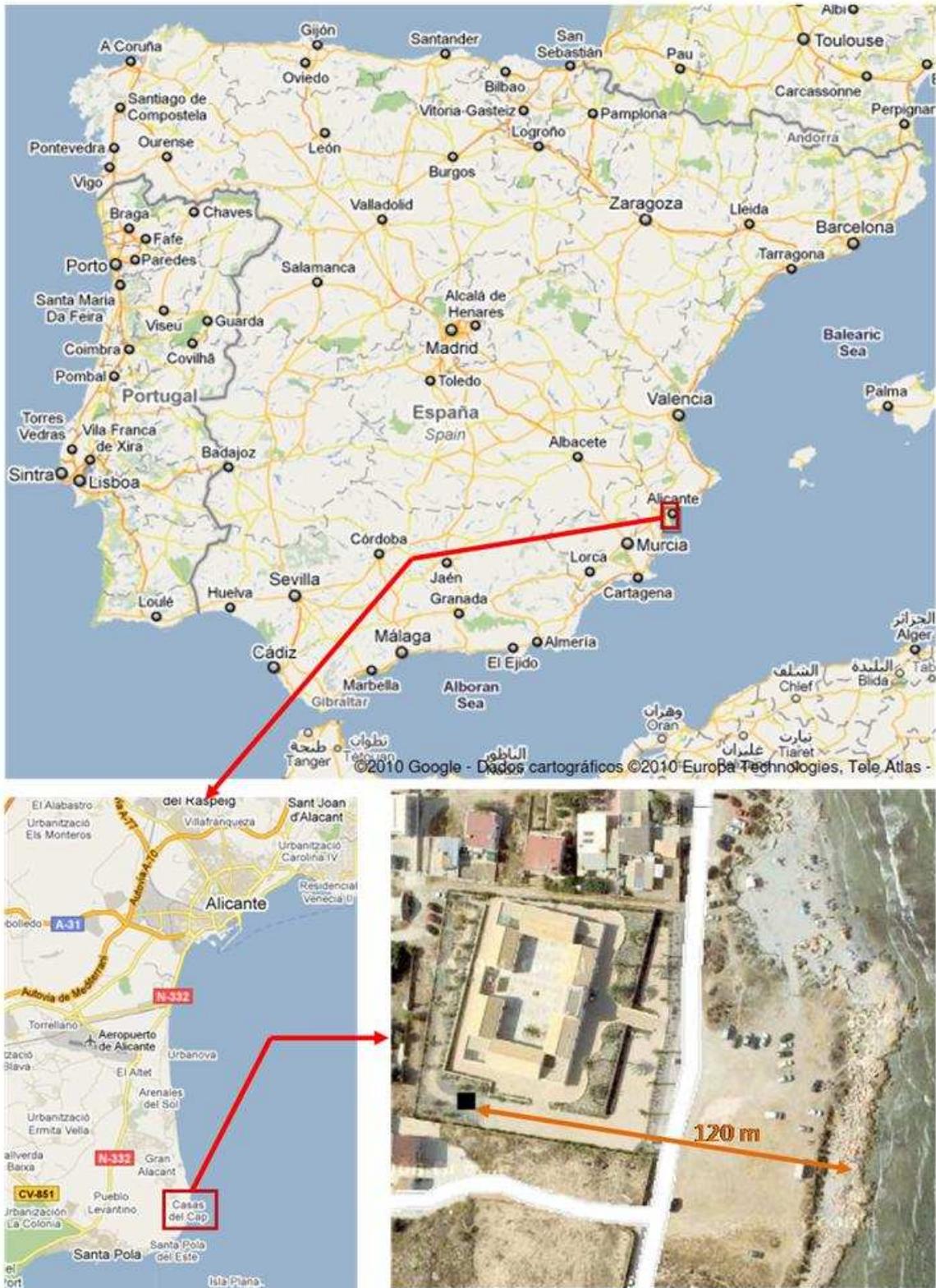


FIGURA 3 – Localização da estação de medição de GS em concreto em Santa Pola, do Departamento de Engenharia de Construção da Universidade de Alicante, Alicante, Espanha

4. MATERIAS UTILIZADOS NO CONCRETO E PREPARO DE TESTEMUNHOS EXPOSTOS NA ESTAÇÃO DE SANTA POLA

Foram preparados testemunhos de três misturas de concreto: duas com cimento Cem I 42.5R (classificação espanhola), sem adições, outra com cimento Cem II / B-V 42.5 (classificação espanhola) que contém de 21% a 25% de cinza volante, além de alguns testemunhos do mesmo concreto da estação de Rio Grande executados com cimento CP IV 32, com aproximadamente 50% de cinza volante (classificação brasileira).

Com cimento Cem I 42.5R foram executados dois traços iguais aos utilizados na pesquisa de Antón [1], denominados H2 e H3. Já com o cimento Cem II / B-V 42.5 foram executados testemunhos com o mesmo traço utilizado em outra etapa desta pesquisa, onde foram realizados ensaios para obter coeficiente de difusão em diferentes GS. Desta forma serão obtidos dados que permitam utilizar os modelos de variação do coeficiente de difusão de cloretos em função do GS.

Os traços dos concretos dos testemunhos expostos na Estação de Santa Pola e suas características são apresentados na Tabela 1 e Tabela 2.

TABELA 1 – Traços dos concretos H2, H3 e H3CV

Concreto	H2	H3	H3CV
Cimento (Kg/m ³)	350 Cem I 42.5R	450 Cem I 42.5R	450 Cem II / B-V 42.5
Arena (Kg/m ³)	662.8	628	628
Árido 4/6 (Kg/m ³)	489.5	523	523
Árido 6/12 (Kg/m ³)	714	637	637
Água destilada (Kg/m ³)	175	171	171
Relação a/c	0.5	0.38	0.38
Plastificante (% ref. cim.)	1.4 (Viscocrete 3500)	1.5 (Viscocrete 3500)	1.5 (Viscocrete 3500)

TABELA 2 – Características dos concretos H2, H3 e H3CV

Concreto		H2	H3	H3CV
Resistência à compressão (MPa)	28d	45	57	60
	90d	51	57	65
Absorção (%)		6,65	5,61	5,42
Índice de vazios (%)		15,10	12,98	12,57
Massa esp. (kg/m ³)		2271	2315	2318

Os testemunhos de mesmo concreto utilizado na estação do Rio Grande foram executados conforme Tabela 3 e obtiveram as resistências apresentadas na Tabela 4.

TABELA 3 – Traços, abatimento de tronco cônico e massa específica do concreto fresco dos concretos P1, P2 e P3 [4]

Concreto	Traço (cim : areia : brita : a/c)	Abatimento (cm)	Massa esp. fresca (kg/m ³)	Consumo de cimento (kg/m ³)
P 1	1 : 2,12 : 2,88 : 0,54	11	2350	359
P 2	1 : 1,60 : 2,40 : 0,45	11	2285	419
P 4	1 : 1,60 : 2,40 : 0,54	22	2275	411

TABELA 4 – Resistência à compressão (MPa) dos concretos P1, P2 e P3 [4]

Traço	Resistência 28 d (MPa)	Resistência 60 d (MPa)
P1	30	35,88
P2	33	38,48
P4	30	36,56

Para obter os testemunhos para medir a variação do GS, foram moldados blocos de concreto para cada traço. Destes blocos foram extraídos testemunhos com aproximadamente 100 mm de diâmetro e 40 mm de espessura. A massa seca e absorção máxima de cada tipo de testemunho são obtidas por amostragem, sendo que primeiro é obtida a massa saturada e depois a massa seca a 105±5°C, conforme ASTM 642 (1990). Após caracterização dos testemunhos, esses foram revestidos com resina a base epoxi em todos os lados com exceção de um topo que caracteriza o tipo de superfície a ser exposta (Fig. 4). São expostos dois testemunhos com mesmas características, sendo que inicialmente um destes é exposto com GS elevado e outro com GS baixo. Quando os respectivos pares atingem graus de saturação muito próximos, considera-se que os testemunhos estão em equilíbrio com o ambiente a que estão expostos.

O GS é obtido através da massa seca e massa medida semanalmente dos testemunhos, conforme a eq. 1.

$$GS = (A_d / A_{max}) \cdot 100 \quad (\text{Equação 1})$$

sendo:

A_d = Absorção medida no dia em %

A_{max} = absorção máxima em %, obtida conforme ASTM 642 (1990)

onde:

$$A_d = ((M_d - M_S - M_{Sil}) / M_S) \cdot 100 \quad (\text{Equação 2})$$

sendo:

M_d = massa do testemunho em g (medição semanal);

M_S = massa seca do testemunho em g;

M_{Sil} = massa de revestimento do testemunho em g.



FIGURA 4 – Preparação dos testemunhos da Estação de Santa Pola - Alicante

Para medir o GS as seguintes variáveis foram consideradas:

- Variação do GS em função do tipo de concreto: para cada traço são preparados dois testemunhos de 100 mm de diâmetro e 40 mm de espessura de cada traço, obtidos das partes centrais dos blocos (VC)(Fig. 5). Todos são colocados em exposição com a face sem revestimento orientada para o norte e na vertical (Fig. 6);
- Variação do tipo de superfície exposta: de alguns concretos previamente selecionados, são expostos testemunhos de 100 mm de diâmetro e 40 mm de espessura, com um dos tops mantendo a superfície externa sem revestimento e orientada para o norte (Fig. 6). A superfície exposta é a que dá a denominação aos testemunhos, no caso, VT, VF, HL e HC (Fig. 5), que são analisados junto com os dois testemunhos VC do grupo anterior;
- Variação da posição da superfície exposta: de concreto previamente selecionado, são expostos testemunhos VC (Fig. 5) de 100 mm de diâmetro e 40 mm de espessura, sendo as superfícies sem revestimento expostas com as seguintes orientações: dois para cima (testemunhos na horizontal, simulando laje de cobertura), dois para baixo (testemunhos na horizontal, simulando face inferior de laje protegida de chuva), dois para o sul (testemunho na vertical), dois para leste (testemunho na vertical), dois para oeste (testemunho na vertical) (Fig. 6) e dois na posição para cima no interior do laboratório. Esses testemunhos são analisados com os dois testemunhos VC do primeiro grupo;

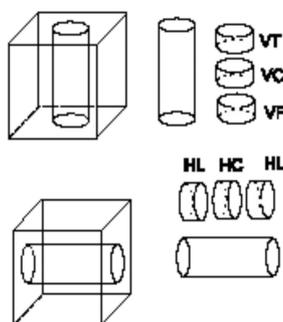


FIGURA 5 – Posição de extração dos testemunhos



FIGURA 6 – Estação de Santa Pola, Departamento de Engenharia de Construção da Universidade de Alicante – Alicante - Espanha

As massas dos testemunhos serão obtidas semanalmente, sendo os testemunhos posicionados conforme Tabela 5.

TABELA 5 – Posicionamento dos testemunhos na Estação de Santa Pola, Alicante, Espanha

Testemu- nho	Concreto	Posição extração	Posição rack	Testemu- nho	Concreto	Posição extração	Posição rack
1	H2	VC	norte	20	H2	VC	p/cima
2	H2	VC	norte	21	H2	VC	lab
3	H2	VT	norte	22	H2	VC	lab
4	H2	VT	norte	23	H3	VC	norte
5	H2	VF	norte	24	H3	VC	norte
6	H2	VF	norte	25	H3fer	VC	norte
7	H2	HL	norte	26	H3fer	VC	norte
8	H2	HL	norte	27	H3CV	VC	norte
9	H2	HC	norte	28	H3CV	VC	norte
10	H2	HC	norte	30	P1fer	VC	norte
11	H2	VC	Oeste	31	P2fer	VC	norte
12	H2	VC	Oeste	35	P4fer	VC	norte
13	H2	VC	Sul	36	P4fer	VC	norte
14	H2	VC	Sul	37	H3CV	HL	norte
15	H2	VC	Leste	38	H3CV	HL	norte
16	H2	VC	Leste	39	H3CV	VC	p/cima
17	H2	VC	p/baixo	40	H3CV	VC	p/cima
18	H2	VC	p/baixo	41	H3CV	VC	p/baixo
19	H2	VC	p/cima	42	H3CV	VC	p/baixo

5. DIFERENÇAS ENTRE A ESTAÇÃO DE SANTA POLA E A ESTAÇÃO DO RIO GRANDE

A estação de Santa Pola apresenta algumas alterações em relação à estação de Rio Grande:

- o rack da estação de Santa Pola tem por base blocos de concreto e os testemunhos são fixos em placas de concreto de 5 cm de espessura. Para tal, foram concretados junto com as placas recipientes de PVC de 5 cm de profundidade e com diâmetro ligeiramente maior que os testemunhos. Os testemunhos são ajustados aos recipientes de PVC por um anel de borracha fixo a estes testemunhos (Fig. 6). Na estação do Rio Grande são utilizados racks de madeira e os testemunhos são fixados em placas de poliestireno expando de 5 cm de espessura. Em ambas as estações os testemunhos são de 40 mm de espessura e aproximadamente 100 mm de diâmetro. Os recipientes de PVC e a placa de poliestireno expando têm a finalidade de amenizar o efeito do calor nas superfícies dos testemunhos que simulam o interior de uma estrutura de concreto;
- os testemunhos que são utilizados para comparar o comportamento do GS em diferentes concretos ou diferentes tipos de superfície em relação a superfície de concretagem foram localizados na face norte na estação de Santa Pola, onde não há incidência de sol, enquanto que na Estação de Rio Grande foram localizados na face sul pelo mesmo motivo. Desta forma se evita maiores interferências de obstáculos próximos as estações;
- todos testemunhos da Estação do Rio Grande foram ensaiados para obtenção de massa seca e absorção máxima. Isto apresenta o inconveniente de que todos os testemunhos são aquecidos a $105\pm 5^{\circ}\text{C}$, o que pode alterar a micro-estrutura do concreto. Nos testemunhos da Estação de Santa Pola, a massa seca e a absorção máxima dos testemunhos para cada concreto e tipo de superfície foram realizados por amostragem, sendo primeiro obtida a massa dos testemunhos saturados e depois foi obtida a massa seca. Para observar se há diferença no GS quando utilizados um ou outro método, foram expostos, no rack de Santa Pola, dois testemunhos utilizados como amostragem para calcular a massa seca e a massa saturada (testemunhos 25 e 26);
- para selar as superfícies laterais e de fundo dos testemunhos foi utilizado silicone na Estação do Rio Grande, sendo que na Estação de Santa Pola foi utilizada resina a base epóxi.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A instalação da Estação de Santa Pola – Espanha permitirá utilizar os modelos de variação do coeficiente de difusão para a região de Alicante ou regiões de clima similar.

A importância da Estação de Santa Pola-Espanha também se deve ao fato de permitir cruzar dados com a Estação do Rio Grande-Brasil, permitindo aperfeiçoar modelos de variação sazonal do GS em função de fatores meteorológicos.

Embora Meira [6] tenha seguido o método de Guimarães [3], foram utilizados corpos de prova moldados para medir o GS na costa do nordeste do Brasil, ao invés de testemunhos extraídos de blocos. Para comparar os dados desta pesquisa com os dados da Estação do Rio Grande – Brasil e da Estação de Santa Pola – Espanha, deve-se verificar se a camada externa, influenciada pelo efeito parede, é um fator que apresente variações consideráveis.

No futuro pretende-se instalar outras estações de medição da variação sazonal do GS em diferentes regiões, formando uma rede que gere dados que permitam obter modelos para diversos climas e tipos de concreto.

7. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa de Estágio Sênior no Exterior concedida ao primeiro autor, permitindo que esta pesquisa fosse realizada junto a Universidade de Alicante – Alicante – Espanha.

8. REFERÊNCIAS

1. ANTÓN GIL, C. *Influencia del contenido de humedad del hormigón sobre la difusividad del ion cloruro*. Madrid, 2009. Tese (Doutorado), Universidad Autonoma de Madrid, Ingeniería de materiales, del agua y del terreno.
2. CLIMENT, M. A.; VERA, G.; LÓPEZ, J. F.; VIQUEIRA, E.; ANDRADE, C. A test method for measuring chloride diffusion coefficients through nonsaturated concrete – Part I: The instantaneous plane source diffusion case, *Cem. Concr. Res.* 32 (2002) 1113-1123.
3. GUIMARÃES, A. T. C. *Vida útil de estruturas de concreto armado em ambientes marítimos*. São Paulo, 2000. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo - PCC/USP, Engenharia Civil.
4. GUIMARÃES, A. T. C. ; HELENE, P. R. L. Models of variation of chloride ion diffusion as a function of changes in the saturation degree (SD) of concrete mixes prepared with pozzolanic cement. In: International RILEM Workshop on Integral Service Life Modelling of Concrete Structures, 2007, Guimarães. *Proceedings*. International RILEM Workshop on Integral Service Life Modelling of Concrete Structures. França : RILEM Publications S.A.R.L., 2007. p. 63-70.
5. GUIMARÃES, A.T.C.; HELENE, P. R. L. The moisture effect on the diffusion of chloride ion in hydrated cement paste. In.: Symposium on Marine Corrosion in Tropical Environments, 2000, Orlando. *Proceedings*. Marine Corrosion in Tropical Environments – ASTM STP 1399, Chelsea S. W. Dean, G. H. Degadillo, J. B. Bushman, Eds., 2000, pp. 135 – 149.
6. MEIRA, G. R.. *Agressividade por cloretos em zona de atmosfera marinha frente ao problema da corrosão em estruturas de concreto armado*. Florianópolis, 2004. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina – PPGECC, Engenharia Civil.
7. NIELSEN, P. E.; GEIKER, M. R. Chloride diffusion in partially saturated cementitious material. *Cem. Concr. Res.* 33 (2003) 133-138.
8. PERAÇA, M. G. T. ; GUIMARÃES, A. T. C. . *Modelo para estimativa do grau de saturação do concreto*. Ed. Pelotas: Editora, 2009. v. 1. 170 p.
9. PERAÇA, M. G. T. ; GUIMARÃES, A. T. C. ; PICCOLI, H. C. Contribuições dos fatores ambientais na estimativa do grau de saturação do concreto. In: 51º Congresso Brasileiro do Concreto, 2009, Curitiba. 51º Congresso do Concreto. São Paulo : IBRACON, 2009. v. 1.
10. RODRIGUES, F. T. ; GUIMARÃES, A. T. C. . Influência do grau de saturação na difusão de cloretos para concreto executado com cimento ARI-RS. In: 50º Congresso Brasileiro do Concreto, 2008, Salvador. *Anais*. 50º Congresso Brasileiro do Concreto. São Paulo : IBRACON, 2008. v. 1. p. 1-12.
11. SOUZA, K. N. DE ; GUIMARÃES, A. T. C. ; ALMEIDA, T. L. ; HELENE, P. R.L. Avaliação do método de medição do grau de saturação em concreto. In: 47 Congresso Brasileiro do Concreto, 2005, Olinda. *Anais*. 47º Congresso Brasileiro do Concreto. Olinda: IBRACON, 2005. v. CD. p. 169-181.