

Estudo da influência dos micro ambientes na variação do grau de saturação do concreto

Study on the Influence of Microenvironments on the Variation of the Saturation Degree in Concrete

Karen N. de Souza ^a, André T. C. Guimarães ^b, , Paulo R. L. Helene ^c

^a *Mestranda do Curso de Pós-graduação em Engenharia Oceânica, Fundação Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Rio Grande, RS*

e-mail:karen.n.Souza@gmail.com

^b *Professor do Curso de Pós-graduação em Engenharia Oceânica, Fundação Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Rio Grande, RS*

e-mail:atcg@vetorial.net

^c *Professor da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia - USP, São Paulo, SP*

RESUMO: Atualmente observa-se que grande parte das estruturas de concreto armado estão apresentando problemas relacionado à corrosão das armaduras, principalmente aquela iniciada pelos íons cloreto. Estudos recentes [4] mostram que um dos fatores de grande influencia na difusão desses íons é o grau de saturação (GS) do concreto. Nesse sentido, foi realizada uma pesquisa sobre a influência do meio ambiente sobre o comportamento do GS. Para tal estudo foram empregados dados oriundos de análise experimental, realizada diariamente durante um ano. Os autores concluíram que os micro ambientes exercem grande influência nas médias sazonais do GS do concreto.

ABSTRACT: Nowadays an amount of reinforced concrete structures are presenting problems related with corrosion of reinforcement, mainly that induced by chloride ions. Recent studies [4] show that a factor significant on diffusion of these ions is the concrete saturation degree (SD). So, a research about the influence of the environment on the behavior of the SD was performed. SD measurements of different concrete samples were made on a daily basis for a period of one year. The authors concluded that microenvironments have a great influence on the seasonal average of the concrete SD.

1. INTRODUÇÃO

Em estudos realizados por Guimarães [4], observou-se alguns fatores que mereciam especial atenção, pois, além de não serem considerados nos modelos atuais, parecia atuar de forma decisiva na previsão de vida útil das estruturas de concreto. Após realizar ensaio de difusão de íons cloreto em pasta de cimento endurecida com diferentes teores de umidade, e ensaio de variação do teor de umidade em testemunhos extraídos de elementos estruturais, o autor verificou a importância de se considerar a variabilidade do grau de saturação (GS) do concreto na previsão da vida útil das estruturas, visto ser este, um dos fatores mais decisivos na intensidade de penetração de íons cloreto. Grau de saturação (GS) é definido como o

percentual de teor de umidade da massa do corpo de prova em relação à absorção de água após imersão e fervura.

Entre os estudos relacionados à durabilidade das estruturas de concreto armado, verificou-se que a corrosão das armaduras provocada pela ação dos íons cloreto é um dos problemas mais sérios que pode ocorrer em uma estrutura, principalmente estando esta situada em ambiente marítimo, visto que podem penetrar grandes profundidades.

Segundo Ang e Tang [1], a variabilidade é inerente a qualquer processo natural. Schiessl et al. [5] associa a variabilidade existente no comportamento das estruturas principalmente com as características do concreto e as condições ambientais que influenciam nos fenômenos de

transporte. Portanto, é importante determinar o quanto à variabilidade deste fator (GS) pode afetar a resposta da estrutura.

Desta forma, este trabalho tem como objetivo conhecer o comportamento real e a variação do teor de umidade do concreto, durante as quatro estações do ano, estando este situado em diferentes micro ambientes.

Empregando dados oriundos de análise experimental verificou-se grande influência dos micro ambientes nas médias sazonais do GS.

Este trabalho faz parte da dissertação de mestrado da aluna Karen Souza.

2. METODOLOGIA

Foi realizado um ensaio similar ao proposto por Guimarães [4] (descrito na seção 3), onde o mesmo consiste em realizar medições diárias do teor de umidade de testemunhos retirados das estruturas pesquisadas.

Após a coleta de dados realizada durante um ano corrido, um adequado tratamento estatístico foi feito para caracterizar o comportamento do GS.

A análise dos resultados foi feita utilizando-se o programa *Statística for Windows*.

3. A INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL

O experimento propõe o estudo da variação do GS em uma estrutura de concreto inserida em diferentes micro ambientes.

A composição do traço do concreto analisado, bem como suas propriedades, estão descritos na tabela 1.

Tabela 1 – Descrição do traço estudado

Traço	Relação 1 : m	c : am : ag : a/c	Abatimento (mm)
1	1 : 5	1 : 2,12 : 2,88 : 0,54	110

Onde:

m – total de material seco composto pelos agregados miúdo e graúdo

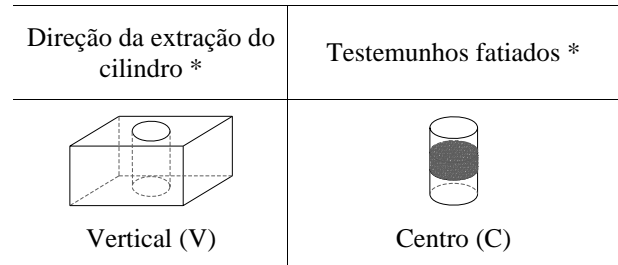
am – agregado miúdo (quartzo) - proporção em m

ag – agregado graúdo (granítico) - proporção em m

a/c – relação água/cimento (CP IV –32)

Com o concreto executado confeccionou - se corpos de prova (CP's) de 15x15x30cm que permaneceram em cura úmida na idade de 24h à

28 dias. Destes CP's foram extraídos cilindros com 10cm de diâmetro, conforme a NBR 7680 [2]. Estes cilindros de concreto foram fatiados de modo que dessem origem a testemunhos com 4 cm de espessura. A figura 1 esquematiza tais procedimentos.



* em relação à superfície de concretagem do CP

Figura 1 – Preparação dos testemunhos: extração e fatiamento dos cilindros

Cada testemunho foi revestido com silicone, com exceção de uma de suas faces. A massa de cada testemunho foi obtida e registrada antes e depois da aplicação do revestimento.

Um suporte de madeira foi projetado visando garantir que todos testemunhos, especificamente as faces não revestidas, ficassem expostos às intempéries e posicionados conforme determinado em projeto (figura 2). Os testemunhos foram fixados em placas de isopor para manter a temperatura do concreto similar à da superfície analisada (figura 3).

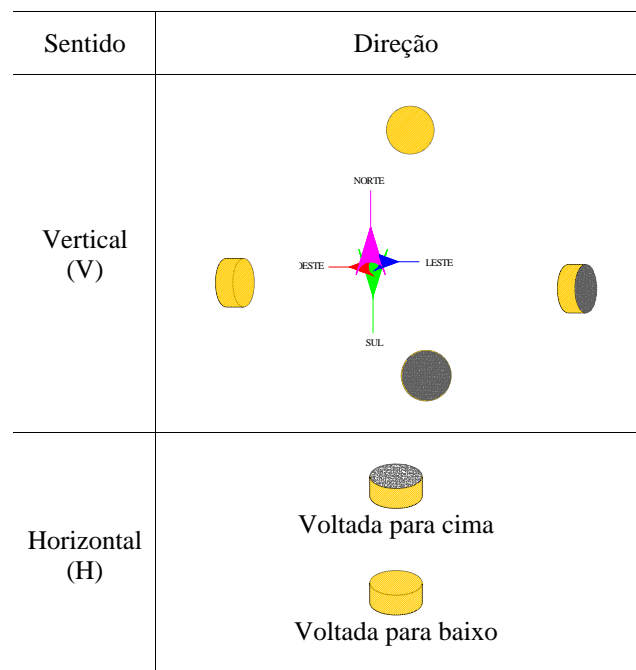


Figura 2 – Variação da posição dos testemunhos (em relação à face não revestida)



Figura 3 – Testemunhos expostos no suporte projetado

As combinações entre: traço executado, direção de extração do cilindro de concreto e testemunho fatiado (ambos em relação à superfície de concretagem dos CP's), juntamente com as diferentes possibilidades de exposição (micro ambientes), possibilitaram simular 7 (sete) distintas situações, sendo 6 (seis) inseridas em ambiente externo e 1 (uma) em laboratório. Ao total foram analisados 14 (quatorze) testemunhos, caracterizados na tabela 2.

Tabela 2 - Identificação dos testemunhos analisados

Testemunho	Traço	Direção da extração do cilindro *	Face exposta *	Posição da face exp.	
				Sentido	Direção
1 2	1	V	C	V	S
19 20	1	V	C	H	para cima
21 22	1	V	C	V	L
23 24	1	V	C	H	para baixo
25 26	1	V	C	V	N
27 28	1	V	C	V	O
29 30	1	V	C	V	Lab

* em relação à superfície de concretagem do CP.

Para que as variações do teor de umidade fossem estudadas, a massa diária (M_d) de cada

testemunho foi obtida e registrada durante um ano (figura 4). Desta forma, a partir das equações 1 e 2, obtém-se o valor do GS para cada situação analisada.

$$GS = \frac{A_d}{A_{max}} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

$$A_d = \left(\frac{M_d - M_s - M_{sil}}{M_s} \right) \times 100 \quad (2)$$

Sendo:

A_d – absorção diária do testemunho

A_{max} – absorção máxima do testemunho

M_d – massa diária do testemunho

M_s – massa seca do testemunho

M_{sil} – massa de silicone que reveste as faces do testemunho

A massa seca e a absorção máxima dos testemunhos foram determinadas conforme NBR 9778 [3].

Todo o experimento foi realizado no Campus Cidade da Fundação Universidade Federal do Rio Grande.

4. RESULTADOS

Após a realização do experimento e coleta de dados, um adequado tratamento estatístico foi dado à variável GS.

Fez-se a análise dos dados utilizando o programa *Statística for Windows*. Os parâmetros estatísticos encontrados estão na tabela 3.

Foram testadas diferentes distribuições, sendo que a do tipo Normal (ou Gaussiana) foi que melhor descreveu o GS.

A figura 1 do apêndice mostra o comportamento das médias sazonais do GS dos testemunhos expostos nos diferentes micro ambientes.

Observou-se dois tipos de comportamento bastante distintos. Os testemunhos localizados em ambiente externo, com exceção do testemunho com a face exposta posicionada horizontalmente voltada para baixo (1VC/Hbaixo), apresentaram comportamento análogo, ou seja, os testemunhos com as faces expostas posicionadas verticalmente

em diferentes orientações geográficas (1VC/VN, 1VC/VS, 1VC/VL e 1VC/VO) e o testemunho posicionado horizontalmente voltado para cima (1VC/Hcima), apresentaram um aumento linear das médias do GS durante o verão, o outono e o inverno consecutivamente, onde a partir daí, ocorreu uma redução na média do GS até a primavera. Já o testemunho com face exposta posicionada horizontalmente voltada para baixo (1VC/Hbaixo) e o testemunho inserido em ambiente de laboratório (1VC/Lab), apresentaram uma pequena oscilação nas médias entre as estações.

Tabela 3 - Identificação dos testemunhos analisados e valores de GS

Estação	Testemunho	GS Médio % (μ)	Desvio Padrão % (σ)
Verão	1VC / VS	55,38	1,82
	1VC / VL	58,58	2,45
	1VC / Hcima	63,28	3,18
	1VC / Hbaixo	50,15	2,01
	1VC / VN	59,80	2,49
	1VC / VO	53,51	2,47
	1VC / Lab	46,99	2,45
Outono	1VC / VS	61,48	6,54
	1VC / VL	62,37	5,31
	1VC / Hcima	65,87	4,20
	1VC / Hbaixo	47,71	0,90
	1VC / VN	62,18	5,52
	1VC / VO	58,34	7,12
	1VC / Lab	43,41	0,38
Inverno	1VC / VS	66,75	1,85
	1VC / VL	64,77	3,10
	1VC / Hcima	67,93	2,01
	1VC / Hbaixo	48,70	0,80
	1VC / VN	65,28	2,03
	1VC / VO	64,08	1,85
	1VC / Lab	44,07	0,53
Primavera	1VC / VS	61,76	2,35
	1VC / VL	60,12	2,16
	1VC / Hcima	61,79	2,51
	1VC / Hbaixo	47,42	0,82
	1VC / VN	62,39	2,27
	1VC / VO	57,83	2,18
	1VC / Lab	43,73	0,41

Ao realizar testes de significância ao nível de 5% nos concretos caracterizado pela variação dos micro ambientes, verificou-se, que as médias do

GS por estação dos testemunhos, em geral, apresentavam diferença significativa ($p < 0,05$), sendo que o testemunho com a face exposta posicionada verticalmente voltada para o norte (1VC/VN) e a voltada para leste (1VC/VL) apresentaram médias iguais no outono, e o testemunho com a face exposta posicionada verticalmente voltada para o sul (1VC/VS) e o posicionado horizontalmente com a face exposta voltada para cima (1VC/Hcima), apresentaram médias iguais na primavera.

Entre os testemunhos localizados em ambiente externo, os que apresentaram comportamento predominante durante todo o ano foram os testemunhos com a face exposta voltada para baixo (1VC/Hbaixo) com baixos valores de GS, o testemunho com a face exposta na vertical voltada para oeste (1VC/VO) com valores intermediários (em relação aos demais casos) e o testemunho com face exposta horizontalmente voltada para cima (1VC/Hcima) com médias mais elevadas. Os demais casos apresentaram médias bastante próximas, com pequenas diferenças entre si, ficando sempre entre os testemunhos 1VC/Hcima e 1VC/VO.

O testemunho inserido em ambiente de laboratório (1VC/Lab) apresentou, durante todo o ano, médias inferiores às médias registradas dos testemunhos localizados em ambiente externo.

Aplicando o Teste de Post Hoc de Tukey do software *Statística for Windows*, utilizando um nível de significância de 5%, observou-se, conforme mostra a figura 2 do apêndice, que os testemunhos com as faces expostas na vertical voltadas para o norte (1VC/VN), sul (1VC/VS) e para oeste (1VC/VO) apresentavam médias iguais no outono e na primavera ($p > 0,05$), com valor mais elevado no inverno e inferior no verão. Verificou-se, também, que não existe diferença significativa nos GS médios para as estações outono, primavera e inverno para os testemunhos posicionados horizontalmente voltado para baixo (1VC/Hbaixo) e em ambiente de laboratório (1VC/Lab). O maior GS médio para esses testemunhos se dá no verão. A diferença entre as médias de GS nos demais casos (testemunho voltado para leste 1VC/VL e o voltado para cima 1VC/HC) mostrou-se significativa em todas as estações, onde os valores mais elevados também foram registrados no verão.

Diante dos resultados apresentados devido à influência do micro ambiente na variação do GS, a

tabela 4 sugere os seguintes valores de GS a serem considerados nos modelos de previsão que consideram tal parâmetro:

Tabela 4 – Correspondência entre GS (%) para concreto armado e micro ambientes (zona de névoa com distância superior à 1000m da água do mar)

Micro ambiente	Posição da superfície exposta	Estação			
		Verão	Outono	Inverno	Primavera
Externo sujeito à intempérie	Face vertical (Ex: parede, etc.)	59,80	62,37	66,75	62,39
	Face para cima (Ex: laje de cobertura, etc.)	63,28	65,87	67,93	61,79
Área aberta coberta protegida da intempérie	Concreto protegido (Ex: laje, viga, pilar, etc.)	50,15	47,71	48,70	47,42
Interno seco	Dormitório, sala, etc.	46,99	43,41	44,07	43,73

Nota:

Concreto executado com cimento pozolânico, vibração manual, exposto no extremo sul do Brasil, em ambiente com classe de agressividade III (de acordo com a NBR 6118/2003), relação a/c 0,54, classe C25, abatimento 110mm.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho caracteriza-se por apresentar uma ampla abordagem do comportamento do GS em elementos inseridos em diferentes micro ambientes, fornecendo, assim, dados suficientes e com um nível de informação satisfatório sobre sua variabilidade.

Durante a realização desta análise, foi possível estabelecer algumas conclusões, que estão reunidas abaixo:

- Quando tratado por estação, o GS do concreto apresentou Distribuição Normal em grande parte dos casos estudados, podendo ser facilmente normalizado através de simples transformações matemáticas quando assim não se enquadrava;
- O comportamento (trajetória) do GS do concreto mostrou-se similar na maior parte dos

casos simulados (aumento das médias entre o verão e o inverno, decréscimo até a primavera);

- Superfícies expostas às intempéries e voltadas para cima (por exemplo: laje de cobertura) tendem a apresentar maiores valores de GS e locais internos secos (por exemplo: dormitórios) tendem a apresentar menores valores de GS, indiferente da estação do ano, mostrando assim, que existe diferença significativa entre as médias de GS dependendo do micro ambiente no qual o concreto está inserido.

Os dados obtidos dão uma idéia de como se comporta o GS em estruturas inseridas em diferentes micro ambientes, de forma que podem ser utilizados em modelos de durabilidade que considerem o GS para as seguintes situações: face vertical de vigas, paramento de cais, lajes, pisos, áreas abertas descobertas, áreas internas secas...

Porém, fica a ressalva de que deve ser dada continuidade a este estudo, verificando outros tipos de concreto e outros ambientes (visto que este experimento ocorreu em ambiente marinho), formando assim, um banco de dados completo no que diz respeito ao comportamento (variação) do GS.

REFERENCIAS

1. Ang, A.; Tang, W. *Probability Concepts in Engineering Planning and Design: Decision, Risk and Reability*. v. 2, 1ª Ed., John Wiley and Sons, 1984. 562 p.
2. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto – Procedimento: NBR 7680*, 1983.
3. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Argamassas e concretos endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica – Método de ensaio: NBR 9778*, 1987.
4. Guimarães, A.T.C. *Vida Útil de Estruturas de Concreto Armado em Ambientes Marítimos*. São Paulo, 2000. 241 p. Dissertação (Doutorado em Engenharia), Escola Politécnica da universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, PCC / USP – Universidade de São Paulo.
5. Schiessl, P. et al.. *Durability Aspects of Probabilistic Ultimate Limit State design*. Heron. v. 44, n° 1, 1999.

APÊNDICE

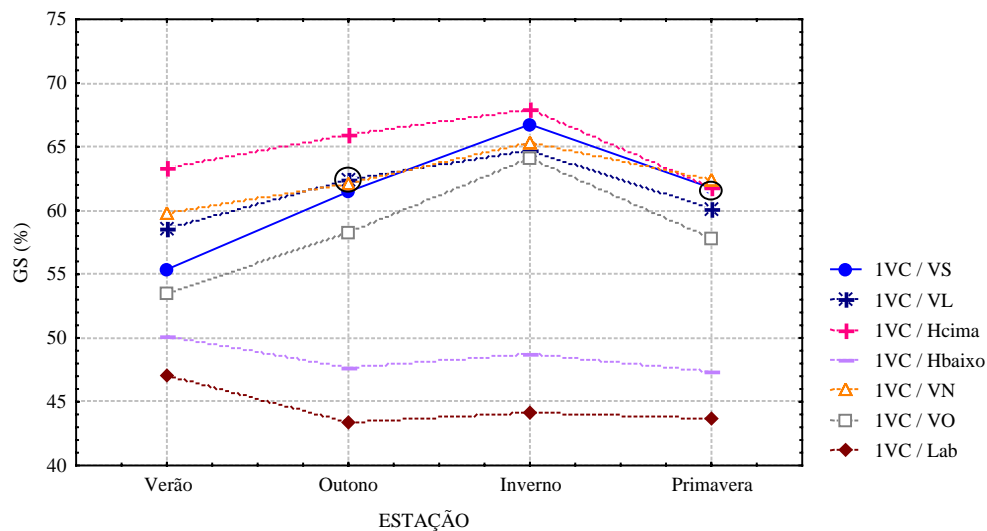


Figura 1 - Gráfico das médias sazonais do GS dos testemunhos expostos em diferentes micro ambientes (teste de significância ao nível de 5%)

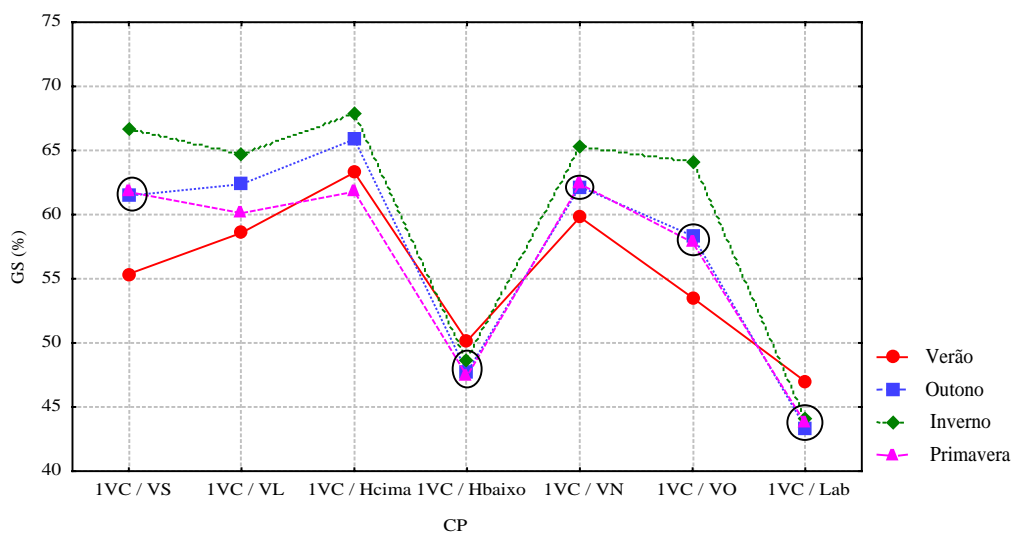


Figura 2 – Gráfico das médias sazonais do GS dos testemunhos expostos em diferentes micro ambientes (Teste de Post Hoc de Tukey utilizando um nível de significância de 5%)