

Um método de medição do grau de saturação em estruturas de concreto

A test method to measure the concrete structures saturation degree

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

^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@bol.com.br

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

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

RESUMO: Atualmente observa-se que uma grande parte das estruturas de concreto armado estão apresentando problemas relacionado à corrosão das armaduras, principalmente aquela iniciada pelos íons cloreto. Estudos recentes [3, 4] mostram que um dos fatores de grande influencia na difusão desses íons é o grau de saturação (GS) do concreto. Nesse sentido, realizou-se uma investigação experimental sobre a variabilidade do GS em diferentes tipos de concreto e micro ambientes. Foi tomado como amostra o GS de testemunhos, medidos diariamente durante um ano. Com o objetivo de reduzir expressivamente tanto o tempo quanto os custos empregados em tal prática, se propôs desenvolver um método de medição do GS, avaliando estatisticamente períodos de medição necessários para caracterizar a variação de tal parâmetro. Os autores concluíram que uma medição semanal apresenta uma boa representatividade quando analisada as variações sazonais do ano. Este trabalho é parte da dissertação de mestrado da aluna Karen Souza.

ABSTRACT: Nowadays an amount of reinforced concrete structures are presenting problems related with corrosion of reinforcement, mainly that induced by chloride ions. Recent studies [3, 4] show that a factor significant on diffusion of these ions is the concrete saturation degree (SD). So, a experimental investigation of variability SD in different concrete types and a range of microenvironments was performed. SD measurements of testimony were made on a daily basis for a period of one year. In order to reduce significantly time and cost employed in this practice, a test method to measure the SD was proposed, making statistical assessment of the measurement periods necessary for to describe the change of this parameter. The authors concluded that a weekly measurement is representative of the seasonal changes that are observed along a year.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Andrade [1], a realização de um experimento para se obter os valores do coeficiente de difusão em estado não estacionário consome muito tempo, devido, principalmente, a dependência desta variável às características do ambiente e do concreto, onde o conhecimento do comportamento real de cada um desses fatores teria de ser estudado detalhadamente.

Nesse sentido, foi realizada uma investigação experimental sobre a variabilidade do GS, visando fornecer dados suficientes e com um nível de informação satisfatório para avaliar o comportamento real do GS na pasta de cimento endurecida.

No entanto, percebeu-se que a metodologia aplicada em tal experimento, de certa forma, tornava-se inviável na prática da engenharia devido à dificuldade de coletar dados diários, o que disponibilizaria de tempo e custos extras, sem mencionar as condições de exposição da estrutura a ser pesquisada que poderia agravar ainda mais o processo. Porém, a importância de se conhecer o valor médio do GS dentro de cada estação sazonal, para melhor prever a vida útil de estruturas de concreto, era, indiscutivelmente, oportuno.

Para tanto, propôs-se desenvolver um método de medição do GS, avaliando estatisticamente períodos de medição necessários para caracterizar a variação de tal parâmetro. Desta forma, pode-se reduzir expressivamente tanto o tempo quanto os custos empregados em tal prática.

Vale a pena ressaltar que, na prática, é muito difícil caracterizar estatisticamente algumas variáveis através da coleta de dados, principalmente em função da pouca disponibilidade de tempo e de recursos para realizar tal tarefa.

2. METODOLOGIA

Guimarães [3] demonstrou que a relação entre o GS do concreto e o coeficiente de difusão de cloretos não é linear. Portanto, para não haver maiores erros na estimativa da média anual do coeficiente de difusão, considerando a variação do GS, considera-se a variação desse fator por estação do ano. Assim, obtém-se o GS médio de cada estação, estimando seus coeficientes de difusão médios e com esses valores obtém um coeficiente de difusão médio do ano.

Com o objetivo de conhecer a variação do teor de umidade no concreto durante as quatro estações do ano, foi realizado um ensaio similar ao proposto por Guimarães [3] (descrito na seção 3), onde o mesmo consiste em realizar medições diárias de testemunhos retirados das estruturas pesquisadas.

Após a coleta de dados realizada durante um ano corrido, um adequado tratamento estatístico foi realizado para caracterizar o comportamento do GS. No entanto, a dificuldade de se obter um banco de dados tão expressivo leva-nos a necessidade de estudar uma forma de reduzi-lo sem mexer na integridade das informações nele existente.

Desta forma, realizou-se uma análise de variância (ANOVA) para cada situação simulada com o objetivo de verificar quais os fatores que exercem influência significativa na caracterização GS.

Não setem como propósito, neste trabalho, aprofundar conceitos sobre tal análise estatística empregada, de modo que se pode ter maiores informações em bibliografias especializadas. Restringiremos este estudo a apresentação dos resultados encontrados juntamente à proposta de medição do GS da pasta de cimento endurecida.

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

3. A INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL

O experimento propõe o estudo de cinco diferentes composições de concreto com o objetivo de verificar a influência de suas propriedades na variação do GS. Os materiais inerentes às composições apresentam mesmas características, garantindo tratamento idêntico para as variáveis envolvidas e também para que os resultados obtidos sejam comparáveis entre si. A Figura 1 esquematiza a relação existente entre os traços desenvolvidos.

A composição de cada traço desenvolvido, bem como suas propriedades, estão descritos na Tabela do apêndice.

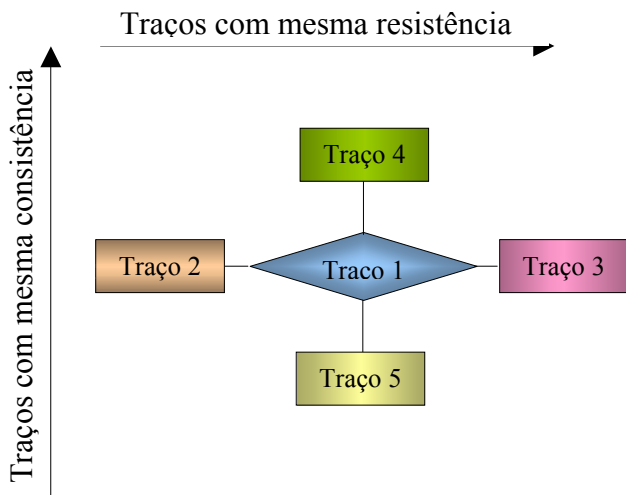


Figura 1 – Relação entre os traços desenvolvidos

Com cada concreto confeccionou - se corpos de prova (CP's) de onde foram extraídos cilindros com 10 cm 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 Fig. 2 esquematiza tais procedimentos e suas variações.

Direção da extração do cilindro *	Testemunhos fatiados *
 Vertical (V)	 Topo (T) Centro (C) Fundo (F)
 Horizontal (H)	 Centro (C) Lateral (L)

* em relação à superfície de concretagem do CP

Figura 2 – Preparação dos testemunhos : extração e fatiamento dos cilindros

Cada testemunho foi revestido com silicone, com exceção de uma de suas faces, de acordo com a superfície de concretagem do CP.

A massa de cada testemunho foi obtida e registrada antes e depois da aplicação do revestimento.

Um suporte de madeira e isopor foi projetado visando garantir que todos testemunhos, especificamente as faces não revestidas, ficassem expostos às intempéries e posicionados conforme determinado em projeto (Fig. 3).

Sentido	Direção
Vertical (V)	
Horizontal (H)	

Figura 3 – Variação da posição dos testemunhos (em relação à face não revestida)

As combinações entre: traço executado, direção de extração do cilindro de concreto e o testemunho fatiado (ambos em relação à superfície de concretagem dos CP's), juntamente com as diferentes possibilidades de exposição (micro ambientes), possibilitaram simular 15 (quinze) distintas situações, sendo 14 (quatorze) inseridas em ambiente externo e 1 (uma) em laboratório.

Ao total foram analisados 30 (trinta) testemunhos, caracterizados na Tabela 1.

Tabela 1 - 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
3 4	2	V	C	V	S
5 6	3	V	C	V	S
7 8	4	V	C	V	S
9 10	5	V	C	V	S
11 12	1	V	T	V	S
13 14	1	V	F	V	S
15 16	1	H	L	V	S
17 18	1	H	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 de cada testemunho foi obtida e registrada durante um ano.

Todo este estudo foi realizado no Campus Cidade da Fundação Universidade Federal do Rio Grande.

4. RESULTADOS

Para que se possam responder as questões da pesquisa, é necessário analisar e interpretar estatisticamente os resultados. Desta forma, um

adequado tratamento às variáveis tornasse indispensável.

Após realizar a análise de variância (ANOVA), utilizando o programa *Statistica for Windows*, para as quinze situações simuladas (Tabela 1) durante as quatro estações do ano (60 simulações), verificou-se que não é necessário fazer medições diárias para caracterizar o comportamento real do GS do concreto dentro de cada estação (média e desvio padrão).

Verificou-se em todas as 60 simulações, que uma medição semanal é o suficiente para se obter tais parâmetros estatísticos que caracterizam uma estação, indiferente do mês ou dia da semana (a interação entre ambos não apresentou significância).

5. CONCLUSÕES

Como a influência do GS é um fator importante para a estimativa de vida útil de estruturas de concreto armado em ambiente marítimo, é necessária a obtenção de dados sobre sua variação sazonal. O desenvolvimento de um método para medir tal fator contribui de uma forma prática no aperfeiçoamento desses estudos.

A redução expressiva do número de medições do GS durante o ano para caracterizar o mesmo em cada estação sazonal significa reduzir tanto o tempo quanto os custos empregados em tal prática.

Ficou evidente que apenas uma medição por semana foi suficiente para caracterizar uma estação do ano durante o período dessa pesquisa. A proposta de medição semanal do GS, porém, vem junto à ressalva de que este estudo deverá ter continuidade, a fim de confirmar se este comportamento permanecerá em outros anos, descartando a hipótese do acaso. Também referente a esta questão, propôs-se que as medições sejam realizadas em um dia da semana previamente estabelecido durante todo o ano, indiferente das condições climáticas correntes, deixando assim, a ação da intempérie atuar, evitando a tendência dos dados devido a ação humana.

REFERENCIAS

1. ANDRADE, J. J. *Contribuição à Previsão da Vida Útil das Estruturas de Concreto Armado Atacadas pela Corrosão de Armaduras: Iniciação por Cloretos*. Porto Alegre, 2001. 256

- p. Tese (Doutorado em Engenharia), Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, PPGEC / UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
2. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto* – Procedimento: NBR 7680, 1983.
 3. 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.
 4. Martys, N. S. *Diffusion in partially-saturated porous materials*. Materials and Structures, v.32, p.555-62, 1999.

APÊNDICE

Descrição dos traços estudados

Traço	Relação 1 : m	c : am : ag : $\frac{a}{c}$	Slump Test (mm)
1	1 : 5	1 : 2,12 : 2,88 : 0,54	110
2	1 : 4	1 : 1,6 : 2,4 : 0,45	110
3	1 : 6	1 : 2,64 : 3,36 : 0,63	110
4	1 : 4	1 : 1,6 : 2,4 : 0,54	220
5	1 : 6	1 : 2,64 : 3,36 : 0,54	12

Onde:

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

am – proporção de agregado miúdo em m

ag - proporção de agregado graúdo em m