

Ensaio de Intrusão de Mercúrio: Análise dos Resultados para Concretos com Cimentos Pozolânico e ARI-RS

Felipe Trez Rodrigues¹, André. T. C. Guimarães²,

¹Mestrando do Curso de Engenharia Oceânica – FURG, Rio Grande, RS – ftrez@bol.com.br

²Escola de Engenharia – FURG, Rio Grande, RS – atcg@vetorial.net

RESUMO: O ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio é amplamente utilizado, principalmente em pesquisas, para verificação de características de concretos. O presente trabalho tem por objetivo averiguar se os resultados do mencionado ensaio apresentam realmente boa correlação com a qualidade dos concretos. Para tal, foram empregadas duas famílias de concreto, uma delas com o uso de cimento pozolânico e outra com cimento ARI-RS. Os resultados dados a partir do ensaio de intrusão de mercúrio se tratam do percentual de volume acumulado de poros mais interligados em relação ao volume total de poros e do diâmetro crítico. A partir deste trabalho, é possível afirmar que o ensaio em questão é confiável, apresenta resultados coerentes e pode e deve continuar sendo empregado em pesquisas que correlacionam diâmetro crítico e porcentagem de poros mais interligados com a qualidade dos concretos.

PALAVRAS-CHAVE: diâmetro crítico, poros interligados

ABSTRACT: The porosimetry experiment by the mercury intrusion is frequently used for the verification of the characteristics of the concretes, especially in researches. This work has the aim to find out if the results of this experiment present a good correlation with the quality of the concretes. Then it was used two concretes families, one made with pozzolanic cement and the other with highly initial resistance cement. The provided results by the mercury intrusion concerns to the accumulated volume percentage of the highly connected pores in relation to the total volume of pores and to the critical diameter. By this work it is possible to affirm that the mentioned experiment is trustful, present consistent results and can and might continue being used in researches which correlate the critical diameter and the highly connected pores with the quality of the concretes.

KEYWORDS: critical diameter, connected pores

1. INTRODUÇÃO

Vários pesquisadores vêm utilizando o ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio a fim de obter características físicas de determinados traços de concretos. VERA et al [4], utilizaram o ensaio a fim de obter dados necessários para verificar a influência do grau de saturação do concreto na difusão de cloretos. SANTOS [3], também fez uso do ensaio, objetivando avaliar a viabilidade de utilização da resistividade elétrica do concreto como parâmetro para a iniciação da corrosão de estruturas submetidas à ação de íons cloreto. OLIVEIRA [2], utilizou o mesmo ensaio de porosimetria, que foi determinante para o seu estudo com cimentos de escória ativada. Neste trabalho, buscou-se verificar se os resultados do ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio apresentam boa correlação com a qualidade dos concretos. Visando tal verificação, foram empregadas duas famílias de concreto. Em uma delas, foi aplicado cimento pozolânico (CP IV-32), enquanto que na outra,

utilizou-se cimento ARI-RS. Os dados gerados pelo ensaio do concreto executado com cimento pozolânico foram retirados da pesquisa de pós-doutorado de GUIMARÃES [1]. Os resultados dados a partir do ensaio de intrusão de mercúrio se tratam do percentual de volume acumulado de poros mais interligados em relação ao volume total de poros e do diâmetro crítico. O diâmetro crítico é o menor diâmetro médio de poro da rede de poros mais interligados, sendo considerado equivalente ao ponto de mudança brusca na curva diâmetro dos poros X volume acumulado dado pelo ensaio. Os valores de percentual de volume acumulado de poros mais interligados em relação ao volume total de poros considerados no presente trabalho são, portanto, os referentes aos pontos de diâmetros críticos (D_{crit}).

2. CARACTERÍSTICAS DOS CONCRETOS

Na Tabela 01, é possível observar os traços empregados na pesquisa de GUIMARÃES [1], onde constam também, abatimento massa específica fresca e consumo do cimento pozolânico utilizado.

Na Tabela 02, estão os mesmos dados referentes à pesquisa feita para este trabalho, a partir do emprego de cimento ARI-RS.

Tabela 01 – Traços, abatimento de tronco cônico e massa específica do concreto fresco executado com cimento pozolânico [1]

Concreto	Traço (c : a : b : a/c)	Abatimento (cm)	Massa esp. Fresca (kg/m ³)	Consumo de cimento (kg/m ³)
Traço P1 (1:5:0,54)	1 : 2,12 : 2,88 : 0,54	11	2350	359
Traço P2 (1:4:0,45)	1 : 1,60 : 2,40 : 0,45	11	2285	419
Traço P3 (1:6:0,63)	1 : 2,64 : 3,36 : 0,63	11	2325	304
Traço P4 (1:4:0,54)	1 : 1,60 : 2,40 : 0,54	21	2275	411
Traço P5 (1:6:0,54)	1 : 2,64 : 3,36 : 0,54	1,2	2325	308

Tabela 02 – Traços, abatimento de tronco cônico e massa específica do concreto fresco executado com cimento ARI

Concreto	Traço (c : a : b : a/c)	Abatimento (cm)	Massa esp. Fresca (kg/m ³)	Consumo de cimento (kg/m ³)
Traço H1 (1:5:0,54)	1 : 2,12 : 2,88 : 0,55	9,5	2320	355
Traço H2 (1:4:0,45)	1 : 1,60 : 2,40 : 0,48	10,0	2326	419
Traço H3 (1:6:0,63)	1 : 2,64 : 3,36 : 0,66	9,5	2285	297
Traço H4 (1:4:0,54)	1 : 1,60 : 2,40 : 0,55	22,5	2308	416
Traço H5 (1:6:0,54)	1 : 2,64 : 3,36 : 0,57	1,8	2340	304

Os traços das duas pesquisas são os mesmos, havendo pequena alteração apenas nas relações a/c. Em ambas as pesquisas, buscou-se chegar a valores equivalentes de abatimento do tronco de cone nos traços H1, H2 e H3, variando a relação a/c, assim como a semelhantes relações a/c nos traços H1, H4 e H5, variando a consistência.

Nas Tabelas 03 e 04, são expostas as resistências atingidas pelos testemunhos dos concretos pozolânico [1] e ARI-RS, respectivamente. Pode-se observar que, como era de se esperar, as resistências dos testemunhos executados com cimento ARI têm valor mais elevado nesses primeiros dias, visto que atingir a resistência máxima num curto período de tempo é justamente a característica típica desse cimento.

Para o ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio, os testemunhos foram confeccionados a partir do uso de argamassa peneirada do concreto, a fim de se alcançar uma situação mais próxima da realidade em relação à argamassa original do concreto. Os ensaios de porosimetria foram realizados em corpos-de-prova com idade aproximada de seis meses, para os dois tipos de cimento.

Tabela 03 – Resistência à compressão (MPa) dos testemunhos executados com cimento pozolânico [1]

Traço	Resistência a 28 dias	Resistência a 60 dias
P1	29,63	35,88
P2	32,85	38,48
P3	27,80	30,33
P4	30,05	36,56
P5	33,70	39,16

Tabela 04 – Resistência à compressão (MPa) dos testemunhos executados com cimento ARI

Traço	Resistência a 28 dias	Resistência a 60 dias
H1	39,19	46,33
H2	42,54	50,08
H3	29,40	37,16
H4	35,71	47,91
H5	36,28	45,55

3. EXECUÇÃO E ANÁLISE DOS GRÁFICOS

Na Fig. 1, estão presentes dois gráficos comparativos entre percentuais de volume acumulado e relações a/c, onde foram considerados os traços 1, 2 e 3, os quais apresentam semelhante abatimento, dos concretos executados com ambos os cimentos.

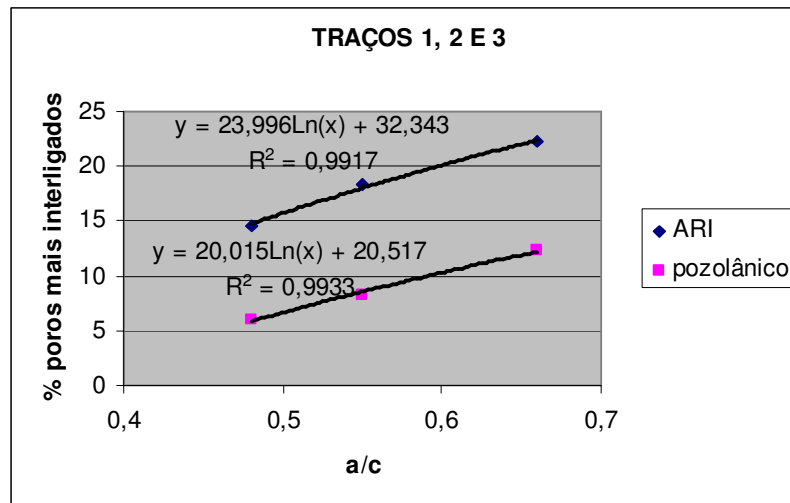


Figura 1 - % de poros interligados X relação a/c de concretos executados com cimento pozolânico e ARI-RS

Na Fig. 1, foram adicionadas linhas de tendência a partir dos pontos obtidos nos ensaios. As linhas se apresentaram quase que paralelas, evidenciando a coerência dos resultados. O concreto executado com cimento pozolânico, conforme o esperado, apresentou valores de porcentagem de volume acumulado na ordem de 50% mais baixo do que o concreto feito com cimento ARI em todos os pontos do gráfico. O concreto executado com cimento pozolânico realmente costuma ter menor resistência inicial, porém, também menor porcentagem de poros interligados em relação ao executado com cimento ARI.

Na Fig. 2, pode-se observar gráficos onde há relação do diâmetro crítico com a relação a/c. Diâmetro crítico, conforme já comentado, foi considerado neste trabalho como sendo o ponto de mudança brusca na curva diâmetro dos poros X percentual de volume acumulado de poros mais interligados em relação ao volume total de poros dada pelo ensaio de porosimetria. Sabe-se que, quanto maior a relação a/c, maior deve ser o diâmetro crítico do concreto. Essa proporcionalidade se faz claramente presente na curva do cimento ARI. No gráfico gerado para o cimento pozolânico, o diâmetro crítico se mantém constante mesmo com o aumento da relação a/c. Isso ocorre porque no concreto executado com cimento ARI, houve uma maior precisão no ensaio de porosimetria devido às faixas de variação da pressão serem menores, possibilitando uma melhor definição do ponto de mudança brusca. Mesmo assim, é possível comprovar a eficiência do ensaio também a partir da análise deste gráfico, visto que houve a mencionada proporcionalidade entre D_{crit} e a/c no concreto com cimento ARI e que os valores de D_{crit} para o concreto executado com cimento pozolânico são menores do que para a outra família de concreto.

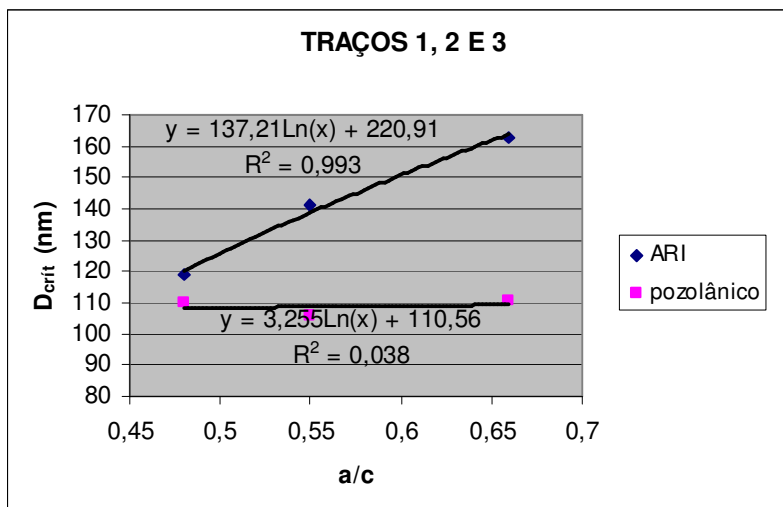


Figura 2 – D_{crit} X relação a/c de concretos executados com cimento pozolânico e ARI-RS

A Fig. 3 mostra a relação entre a porcentagem de poros mais interligados nos concretos e os diâmetros críticos. Sabendo-se que o diâmetro crítico é o menor poro a partir do qual se estabelece uma rede de poros que permite o transporte de massa no interior do concreto, observa-se que existe coerência nos resultados obtidos, visto que o aumento da porcentagem de volume acumulado é proporcional ao aumento do D_{crit} , principalmente na análise do gráfico do cimento ARI.

No caso do concreto executado com cimento pozolânico, nota-se que os valores de D_{crit} e, conseqüentemente, de percentual de poros interligados são mais baixos do que os do concreto que contém cimento ARI. Isso novamente comprova que o ensaio é relevante, visto que a utilização de cimento pozolânico faz com que o concreto tenha um menor percentual de poros interligados. O coeficiente R^2 da curva do cimento pozolânico novamente não atingiu um valor próximo de 1, como era de esperar, pelo mesmo fato já explicado, de que houve maior precisão de escala de pressão na realização do ensaio de porosimetria do cimento ARI.

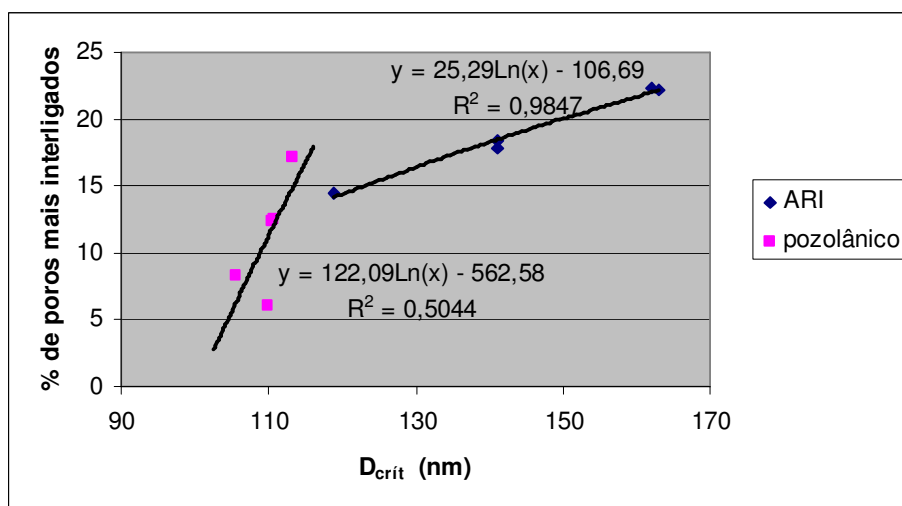


Figura 3 – % de volume acumulado X D_{crit} de concretos executados com cimento pozolânico e ARI-RS

A Fig. 4, mostra um gráfico comparativo entre percentual de volume acumulado de poros interligados e coeficiente de difusão de concretos com 100% de grau de saturação executados com os dois cimentos levados em consideração no presente artigo. As medições de D_{Sat} foram realizadas após seis meses de idade dos concretos executados com os dois tipos de cimento. As linhas de tendência anexadas apresentam formato bastante parecido, demonstrando que os concretos se comportam de maneira semelhante quando totalmente saturados. O percentual de volume acumulado dos poros mais interligados do cimento pozolânico é mais baixo do que do cimento ARI nas situações propostas nesse artigo. Porém, o aumento do D_{Sat} ocorre proporcionalmente ao percentual do volume de maneira análoga nos dois concretos. O que varia é a escala. Enquanto o concreto com cimento pozolânico varia seu percentual de volume acumulado de 8% a 17%, o outro concreto varia o mesmo percentual de 14% a 22%, evidenciando, mais uma vez, a maior ocorrência de poros mais interligados no concreto executado com cimento ARI.

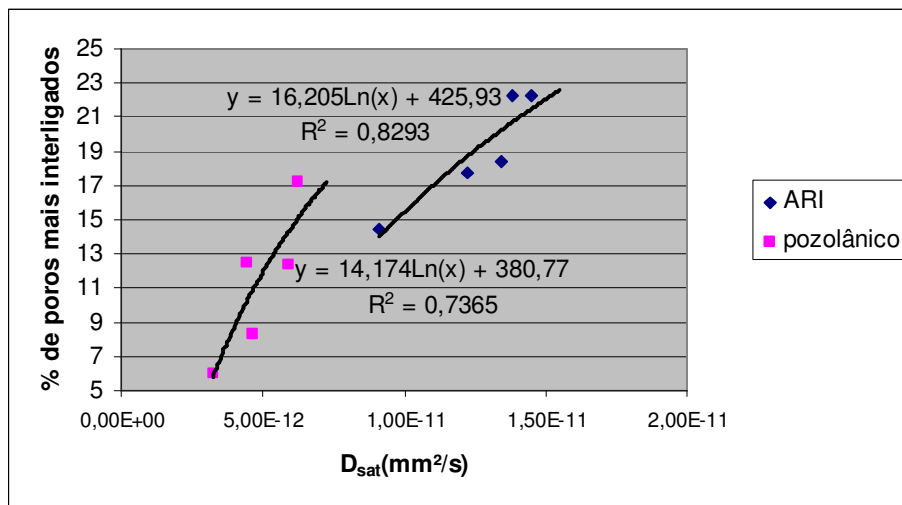


Figura 4 – % de volume acumulado X coeficiente de difusão de concretos saturados executados com cimento pozolânico e ARI-RS

A Fig. 5 apresenta um gráfico comparativo entre diâmetro crítico e coeficiente D_{Sat} para os tipos de concretos estudados. No gráfico referente ao concreto executado a partir do emprego de cimento ARI, há um aumento do valor de D_{sat} proporcional ao D_{crit} . Novamente não foi evidenciado aumento do D_{crit} proporcional ao aumento de D_{sat} no concreto que leva cimento pozolânico em sua composição. A causa desta não ocorrência novamente se justifica pelas diferentes escalas de pressão utilizadas nos ensaios de porosimetria das duas famílias de concretos.

Mais uma vez, portanto, se comprovou a eficiência e a importância do ensaio de porosimetria, visto que o aumento de D_{crit} realmente deve manter proporcionalidade com o crescimento de D_{sat} e que os valores de D_{crit} para concretos que utilizam cimento ARI em seus traços devem ser maiores do que para os compostos por cimento pozolânico.

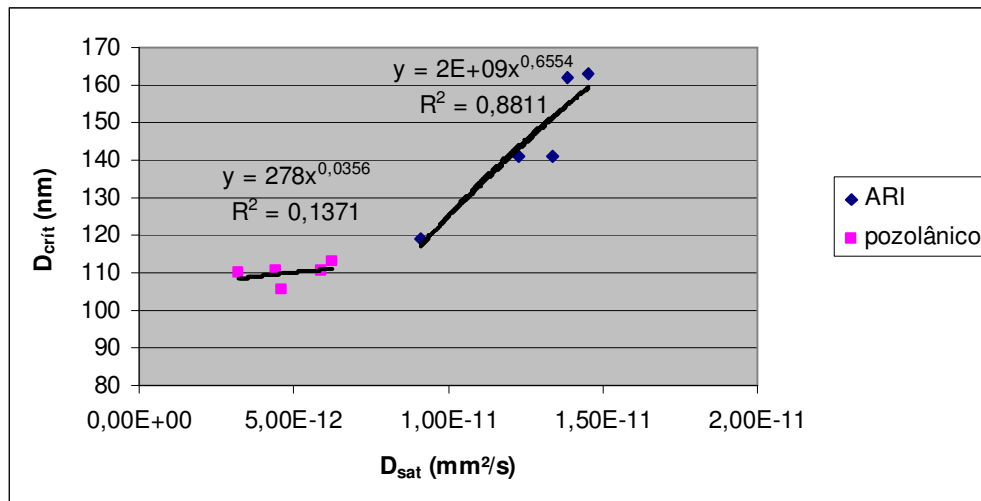


Figura 5 - D_{crit} X coeficiente de difusão de concretos saturados executados com cimento pozolânico e ARI-RS

4. CONCLUSÃO

Como conclusão deste trabalho, é possível afirmar que o ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio é um ensaio confiável, apresenta resultados coerentes e pode e deve continuar sendo empregado em pesquisas que correlacionam diâmetro crítico e porcentagem de poros mais interligados com a qualidade dos concretos.

REFERÊNCIAS

1. GUIMARÃES A. T. C. Grau de Saturação: *Sua Variação com o Tipo de Concreto e sua Influência na Difusão de Íons Cloreto*. São Paulo, 2005 Monografia (pós-doutorado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
2. OLIVEIRA, C. T. de A. *Água do poro de pastas de cimento de escória*. São Paulo, 2000. Tese (doutorado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
3. SANTOS L. Avaliação da resistividade elétrica do concreto como parâmetro para a previsão da iniciação da corrosão induzida por cloretos em estruturas de concreto. Brasília, 2006. Dissertação (mestrado) Faculdade de Tecnologia.
4. VERA, G.; CLIMENT, A.; VIQUEIRA, E.; ANTÓN, C.; ANDRADE, C. *A Test Method for Measuring Chloride Diffusion Coefficients through Partially Saturated Concrete. Part II: The Instantaneous Plane Source Diffusion Case with Chloride Binding Consideration*. Cement and concrete Research, v 37, p. 714-723, 2005.