

ELASTIC PROPERTIES OF PERVIOUS CONCRETE

Ângelo S. Pessutto, Gabrielle B. Bidinotto, Maurício Ruschel, Vanessa F. Pasa Dutra

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

LEME - Laboratório de Ensaio e Modelos Estruturais UFRGS

DECIV - Departamento de Engenharia Civil UFRGS

angelo@pessutto.com.br, gbidinotto@gmail.com, mauricioruschel@gmail.com,
vanessapasa@gmail.com

Abstract. Pervious concrete represents a sustainable low cost alternative to conciliate urban development and environment care, avoiding drainage systems overload and problems caused by the soil imperviousness caused by the crescent urbanization. Pervious concrete is composed by Portland cement, coarse aggregate, little or no fine aggregate, water and, sometimes, additives and additions. The mixture produces a hard composite with connected pores that allow water to flow. Pervious concrete's porosity usually range from 18 to 35% and its uniaxial compressive strength range from 2.8 to 28 MPa. Porosity affects all characteristics of pervious concrete, mainly permeability and strength. High porosities allow high permeabilities, but cause a decrease in the material strength. Therefore, it is essential to optimize the material production in order to achieve desirable strengths and permeabilities. Porosity also affects the elastic properties of pervious concrete, as pointed by available studies. Aiming the comprehension of the elastic and strength behaviors of pervious concrete produced with local supplies (Porto Alegre/RS), this work evaluates the following parameters: elastic modulus, Poisson's ratio and uniaxial compressive strength. This study applies an experimental approach in which two mixes (in mass) are considered 1:4 and 1:5. The results show how the elastic properties and compressive strength are related and depend to the porosity of pervious concrete. The elastic experimental results are also compared to experimental data of other researches. The results can be used to formulate micromechanics models and numerical analysis. The equations in this work estimate the elastic properties of pervious concrete produced with local supplies (Porto Alegre/RS).

Keywords: *Pervious Concrete, Elastic Properties, Experimental approach*

1. INTRODUÇÃO

Concreto permeável é um material cimentício com poros interconectados que resultam em um material com alta permeabilidade, permitindo a passagem da água (ACI 522R-10). É um concreto pouco maleável, consistindo de cimento Portland, agregado graúdo, pouco ou nenhum agregado miúdo, água, aditivos e adições. A

combinação destes ingredientes produz um material endurecido com poros conectados que variam de 2 a 8 mm, os quais permitem a passagem facilitada da água. A porosidade de um concreto permeável típico varia de 15 a 35%, com o mínimo de 15% prescrito pela National Ready Mix Concrete Association (NRMCA). A resistência à compressão uniaxial pode variar de 2.8 a 28 MPa. A razão água/cimento (a/c) varia entre 0.25 e 0.45 com a principal intenção de proporcionar uma camada fina de pasta no agregado (Malhotra, 1976 [1]; Chandrappa *et al.*, 2016 [2]).

Para que o comportamento deste material seja muito bem definido, possibilitando o desenvolvimento e utilização de todo o seu potencial, é necessário dispor-se de modelos teóricos representativos do seu comportamento. Estes modelos teóricos precisam ser calibrados e validados através da comparação com dados experimentais. Desta forma, este estudo tem por objetivo analisar as propriedades elásticas do concreto permeável através de uma abordagem fenomenológica, com a realização de ensaios para obtenção das mesmas. Estes parâmetros são fundamentais para a futura calibração de modelos micromecânicos, os quais são baseados no comportamento dos constituintes do meio heterogêneo e na configuração da microestrutura.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Preparação dos corpos de prova

Os corpos de prova de concreto permeável usados nesse estudo foram

produzidos em duas concretagens. Optou-se por materiais existentes na região de Porto Alegre, como o pedrisco basáltico lamelar, comumente encontrado e disponível. O cimento utilizado foi o Portland CPV ARI e a relação a/c 0,3.

Foram produzidos corpos de prova de dois traços diferentes, 1:4 e 1:5 (em massa), resultando em vinte e dezoito corpos de prova, respectivamente. Suas dimensões eram 100mm de diâmetro e 200mm de altura e com porosidades variando entre 14% e 34%.

2.2 Ensaio de Porosidade

A porosidade de um material é definida como o índice de vazios que possui, no caso do concreto permeável, refere-se à quantidade relativa de poros no volume do material. A porosidade tem ligação direta com todas as propriedades do concreto permeável, por isso é fundamental o seu conhecimento e medição.

O ensaio, baseado na norma *ASTM C1754M-12 - Standard Test Method for Density and Void Content of Hardened Pervious Concrete*, consiste em pesar os corpos de prova quando secos em temperatura ambiente e quando em imersão por, no mínimo, trinta minutos, com a ajuda de equipamento que possibilite essa pesagem e, sabendo suas dimensões, realizar o cálculo:

$$P = \frac{1 - \frac{(M_D - M_W)}{d}}{V} \times 100 \quad (1)$$

Eq. (1) Determinação da Porosidade de um material

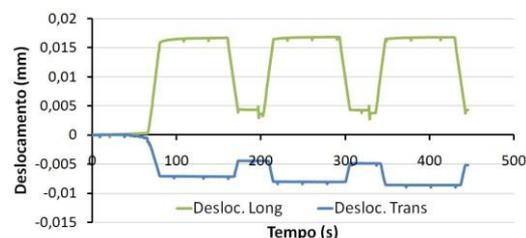
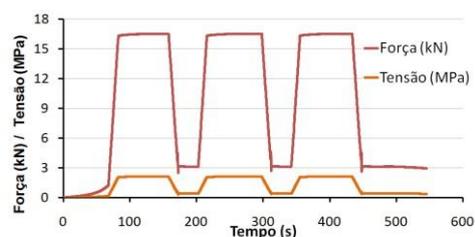
Onde:

P = Porosidade (%); M_D = massa Seca (kg); M_W = massa submersa (kg); d = densidade do líquido usado na imersão, no caso, água ($d = 1000 \text{ kg/m}^3$); V = volume do corpo de prova, no caso cilíndrico ($V=\pi R^2$), onde R representa o raio do corpo de prova.

2.3 Ensaio de Módulo de Elasticidade e Coeficiente de Poisson

A realização dos ensaios seguiu as diretrizes da norma *ASTM C469 Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*, porém com adaptações para o concreto permeável. Pela norma, o ensaio é realizado utilizando-se LVDTs presos ao corpo de prova por um suporte, e a carga é aplicada utilizando uma prensa hidráulica. A aplicação da carga deve variar de um valor de 5% da carga de ruptura (carga mínima) e 30% da carga de ruptura (carga máxima), com um tempo de 30 segundos em cada uma das cargas, repetindo o procedimento por três vezes (três ciclos).

Para o concreto permeável, foi empregada uma carga máxima de 16,5 kN e uma carga mínima de 2,5 kN. Essa escolha foi baseada nos limites de resistência encontrados na bibliografia disponível (2 a 28 MPa), buscando aplicar uma carga que produzisse tensões e deformações no regime elástico do material, considerando-se a variação de porosidades analisada (de 15 a 28 %). Optou-se por trabalhar com mesmos níveis de tensão variando-se o material, ou seja, variando-se a porosidade. As figuras 1 e 2 mostram a variação de força e deslocamentos no decorrer do ensaio.

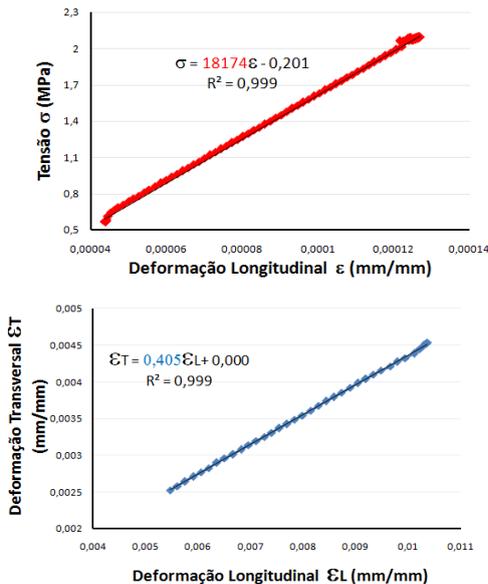


Figuras 1 e 2: Ciclos de força aplicada nos CPs e tensão calculada considerando a área do mesmo e respectivos deslocamentos

transversal e longitudinal medidos através dos LVDTs.

Os dados de carga (kN) e deslocamentos (mm) do ensaio foram coletados através de um software que os cataloga em uma tabela, totalizando, em média, 2000 dados por corpo de prova. Os dados dos dois primeiros ciclos foram descartados e foram utilizados apenas os dados do terceiro ciclo, conforme sugere a norma. Os dados de carga (kN) são convertidos para tensão dividindo-se pela área do corpo de prova e os deslocamentos são convertidos em deformações dividindo-os por um comprimento inicial (100mm no centro do corpo de prova).

Com os dados de tensão, deformação longitudinal e deformação transversal, foram calculados o módulo de Young (E) e o coeficiente Poisson (ν) por meio do cálculo da tangente das retas dos gráficos, tensão *versus* deformação longitudinal e deformação transversal *versus* deformação longitudinal. (Figuras 3 e 4).



Figuras 3 e 4: Cálculo do módulo de Young (E) e cálculo do coeficiente Poisson (ν) pela tangente, respectivamente.

2.4 Ensaio de Compressão Uniaxial

O ensaio de compressão uniaxial foi realizado seguindo-se a norma *ABNT NBR 5739*.

3. RESULTADOS

Os resultados mostraram forte dependência da porosidade em relação às propriedades elásticas e de resistência à compressão uniaxial (Figuras 5, 6 e 7).

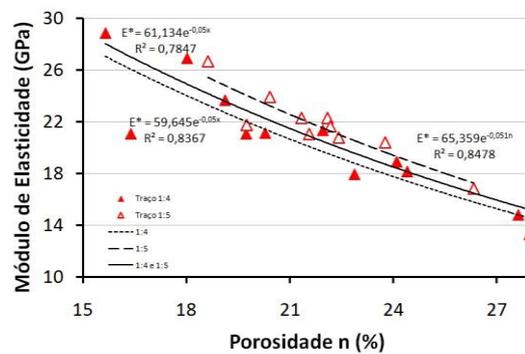


Figura 5: Relação entre módulo de elasticidade, ou módulo de Young e porosidade.

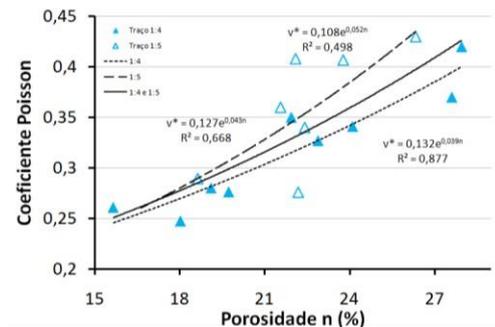


Figura 6: Relação entre coeficiente Poisson e porosidade.

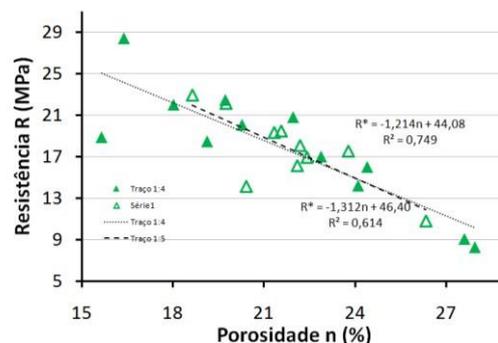


Figura 7: Relação entre resistência à compressão uniaxial e porosidade.

Os resultados de módulo de elasticidade e resistência à compressão foram também comparados com resultados de outros estudos (Figuras 8 e 9).

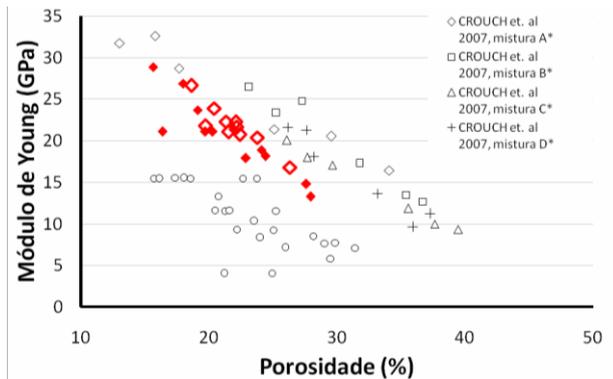


Figura 8: Comparação dos resultados de módulo de elasticidade com resultados obtidos por Crouch *et al.* [3] e Alam *et al.* [4].

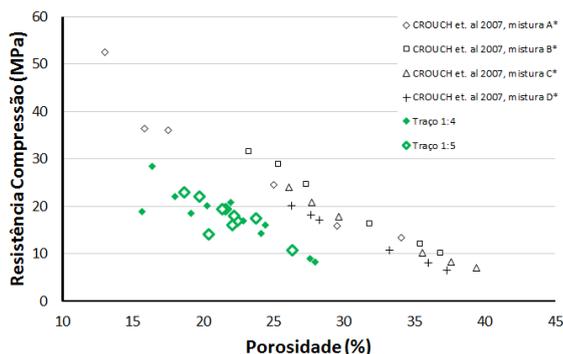


Figura 9: Comparação dos resultados de resistência à compressão com resultados obtidos por Crouch *et al.* [3].

4. CONCLUSÕES

O estudo permitiu avaliar a relação existente entre propriedades elásticas e mecânicas com a porosidade do concreto permeável, podendo ter utilidade na

formulação de modelos micromecânicos e análise numérica.

Os resultados se apresentaram coerentes quando comparados a resultados de outros estudos, mostrando a mesma tendência.

As equações das figuras 5, 6 e 7 podem estimar as propriedades elásticas e a resistência do concreto permeável quando produzido com materiais da região de Porto Alegre/RS.

REFERÊNCIAS

- [1] V. M. Malhotra No-Fines Concrete - Its Properties and Applications *ACI JOURNAL* V 73 Issue 11 628-644 1976.
- [2] Chandrappa, A. and Biligiri, K. (2016). "Pervious concrete as a sustainable pavement material – Research findings and future prospects: A state-of-the-art review." *Construction and Building Materials*, 111, 262-274.
- [3] CROUCH, L. K., PITT, J., HEWITT, R., Aggregate Effects on Pervious Portland Cement Concrete Static Modulus of Elasticity, *J. of Mat. in Civil Eng.*, 19, 561–568, 2007.
- [4] ALAM, A., HASELBACH, L. Estimating the Modulus of Elasticity of Pervious Concrete Based on Porosity, *Advances in Civil Engin. Mat.*, 3, 256–269, 2014.