

SIMULAÇÃO DA RESISTÊNCIA IMPOSTA AO FLUXO POR COBOGÓS ENQUANTO DOMÍNIOS POROSOS¹

RAVILOLO, B., Universidade Federal do Ceará, email: bruno.raviolo@gmail.com; LEITE, R., Universidade Federal do Ceará, email: renancid@bol.com.br; CARDOSO, D., Universidade Federal do Ceará, email: danielcardoso@ufc.br; PASSOS, A., Universidade Federal do Ceará, email: aderson.passos@gmail.com; CATUNDA, N., Eidgenössische Technische Hochschule, email: n.catunda@gmail.com; CASTRO, N., Universidade Federal do Rio Grande do Norte, email: nayanahelena@gmail.com; CORDEIRO, K., Universidade Federal do Ceará, email: karolinecordeiro.arquiteta@gmail.com

ABSTRACT

Cobogo's relevance to brazilian architecture dates back to its modernist movement, allowing adaptation to hot and humid climate and still being applied to new buildings. Contemporary design processes employ new tools to better analyze building performance through computational simulations and building information models. In computational fluid dynamics, however, practical barriers arise when evaluating natural ventilation in buildings that extensively uses cobogós on their facades. This paper investigates those issues in the current methodology and proposes the use of porous domains that mimics the behavior of cobogós. A case study of cobogós used in an experimental building analyzes their characteristics by conducting computational fluid dynamics simulations in a juxtaposed arrangement as well as an isolated element on a wall. Results includes resistance loss coefficients data for geometrically modelled cobogós and their equivalent porous domains, thus evaluating the method's reliability for design processes. Following discussions identify method's potentialities and limitations, as well as future steps and practical applications.

Keywords: Cobogó. Computational fluid dynamics. Natural ventilation. Discharge coefficient.

1 INTRODUÇÃO

Presente nas mais variadas formas e materiais, o cobogó é um bloco vazado que regula a penetração solar e lumínica, sendo popularmente empregado para realizar as trocas de ar dos ambientes. Este elemento é semelhante aos ripados de madeira e antigos muxarábis, que atuam como filtros solares e visuais, contudo com a vantagem de possibilitar a criação de planos leves e permeáveis ao vento (OLIVEIRA, 2013).

Durante a elaboração de uma edificação experimental voltada para eficiência energética no litoral do Ceará foram produzidos cobogós a partir de um paradigma de alta tecnologia em projeto e baixa tecnologia construtiva com o intuito de permitir a ventilação cruzada em seu interior. O edifício conta com duas fachadas permeáveis ao vento, ambas curvas, das quais a poente é composta inteiramente de cobogós. A permissividade ao fluxo de ar destas peças é, portanto, crucial para assegurar ventilação natural efetiva e garantir o conforto térmico dos ocupantes.

É sabido que a ação dos ventos aumenta a tolerância dos usuários às altas

¹ RAVILOLO, B., LEITE, R., CARDOSO, D., PASSOS, A., CATUNDA, N., CASTRO, N., CORDEIRO, K. Simulação da resistência imposta ao fluxo por cobogós enquanto domínios porosos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2018.

temperaturas do ar em clima quente e úmido pela aceleração das trocas térmicas evaporativas entre o ar e a pele (NICOL, 2004). Nestes locais, a ventilação natural é a principal estratégia para alcançar conforto térmico (GIVONI, 1994).

A geometria das aberturas e suas interações com o escoamento são determinantes para a ventilação natural. Ao atingir uma abertura, parte da energia cinética do vento é dissipada e outra se mantém. Assim, a parcela útil varia entre 100% da energia onde a abertura não impõe dificuldades à passagem do ar até quase 0% em elementos que restrinjam o fluxo (CÓSTOLA; ALUCCI; ETHERIDGE, 2009).

O coeficiente de descarga é um parâmetro adimensional, variando de zero a um, que quantifica a eficiência da abertura à passagem do ar, ou de outra forma, a resistência imposta ao fluxo (ZHOU et al, 2005; CÓSTOLA, 2006). Deriva-se a equação utilizada para encontrar o coeficiente de descarga (C_d) dos cobogós a partir do modelo de Bernoulli, onde Δp é a diferença de pressão em Pa entre as faces da abertura, ρ é a massa específica do ar (kg/m^3) e A a área nominal da abertura (m^2).

$$Q = C_d A \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad (1)$$

$$C_d = \frac{q}{A} \sqrt{\frac{\rho}{2\Delta p}} \quad (2)$$

Nos cálculos da vazão de ar, é recorrente a adoção do valor de 0,6 para aberturas comuns (ETHERIDGE; SANDBERG, 1996; FROTA; SCHIFFER, 2003). No entanto, no caso de cobogós a ausência de um valor mais adequado é evidente, uma vez que não há elementos, além da própria *vena contracta*, restringindo a passagem do fluxo.

Ressalta-se que o cobogó, enquanto objeto isolado, atua como uma pequena e curta abertura, possuindo um C_d constante e independente do número de Reynolds (Re). Portanto, os campos de pressão e velocidade ao redor da edificação se mantêm inalterados, exceto na região de vizinhança da abertura. Pela pequena dimensão da passagem, o fluxo acaba sendo unidirecional e o cobogó isolado se comporta de maneira similar a uma esquadria tradicional, o que para um Re suficientemente alto (>100), implica em um C_d constante de 0,611 (ETHERIDGE, 2012).

Contudo, quando assentados paralelamente sob a configuração de pano os cobogós apresentam abertura total muito grande, o que torna o emprego do C_d inadequado para simulações CFD desacopladas, já que os campos de pressão e velocidade na vizinhança da abertura podem ser alterados significativamente (ETHERIDGE, 2012). Entretanto os fluxos unidirecionais podem ser preservados em virtude da profundidade do perfil de cada peça, que desempenham função análoga à aletas direcionadoras, definindo a

parede inteira como um conjunto de pequenas aberturas. Nesta configuração, Cóstola (2006) sugere uma equação para calcular o escoamento total, onde C_{dR} corresponde ao somatório do inverso de cada coeficiente de perda de carga.

$$\frac{1}{C_{dR}} = \frac{1}{C_{d1}} + \frac{1}{C_{d2}} + \frac{1}{C_{d3}} + \dots \quad (3)$$

1.1 Objetivo

Face ao crescente uso de ferramentas computacionais integradas ao processo de projeto para auxiliar tomadas de decisão, o presente artigo tem como objetivo a construção de um método para análise do desempenho de cobogós quanto à ventilação natural por meio de dinâmica dos fluidos computadorizada (*computational fluid dynamics*, ou CFD). O método esclarece parâmetros relativos à correta modelagem da resistência imposta ao fluxo de ar, identificando o coeficiente de descarga (C_d) para cobogós tanto na forma isolada quanto associada em panos. Facilita-se, assim, o uso de tais ferramentas para avaliação de diferentes formas e composições de cobogós durante o processo de projeto.

2 METODOLOGIA

Simulações CFD foram empregadas pelos seus baixos custos operacionais se comparadas à túneis de vento bem como pela estruturação e complexidade inerente à tarefa.

Uma vez que a modelagem geométrica direta dos cobogós em pano extenso se mostrou inviável, optou-se pela descrição do objeto em duas etapas distintas: a primeira consiste no teste da peça modelada geometricamente para obtenção do C_d ; e a segunda, na modelagem de um domínio poroso que exiba comportamento semelhante.

2.1 Cobogós

Foram analisados cobogós retangulares utilizados para proteger a fachada poente de uma edificação contra a insolação. Estas peças possuem 20 cm de profundidade, espessura lateral de 1,5 cm e camada de argamassa de assentamento de 2 cm de espessura. Três diferentes tipos de cobogós foram estudados (Tabela 1).

Tabela 1 – Características dos cobogós

Tipo	Aresta Interna	Área de Abertura	Porosidade
A	0,06 m	0,0036 m ²	29,75%
B	0,08 m	0,0064 m ²	37,86%
C	0,16 m	0,0256 m ²	58,04%

Fonte: os autores

2.2 Condições de contorno

Simulações do tipo RANS foram realizadas em regime isotérmico e estacionário no software ANSYS CFX (2014). Malhas desestruturadas compostas por tetraedros foram associadas a camadas de prismas. O modelo turbulência $k-\omega$ foi utilizado. A pressão na Inlet foi definida em 10 Pa, de acordo com valores típicos encontrados em edifícios reais e recomendações para CFD (ETHERIDGE, 2012; CÓSTOLA, 2006). Na abertura oposta foi adotado 0 Pa.

2.3 Domínio poroso

Optou-se por explorar domínios porosos, capazes de imitar o comportamento anisotrópico das peças e requerendo malhas com menor complexidade.

Adotando os mesmos parâmetros de malhas, nas simulações envolvendo domínios porosos a precisão foi dobrada. Perdas direcionais foram modeladas com a inserção de componentes vetoriais e coeficientes de perda transversal. O campo de porosidade é entendido como a porcentagem de volume vazio presente em uma quantidade de material, sendo o resultado da razão entre o volume de vazios e o volume total da amostra (NETO e SILVA, 2016). O parâmetro permeabilidade representa a capacidade do material em transmitir fluidos, que neste caso foi calculada como o somatório da projeção das áreas de aberturas em vista frontal, uma incidência perpendicular do vento.

O CFX utiliza o coeficiente K_{loss} para calcular a resistência de um meio poroso na direção do fluxo. Em dutos, a queda de pressão por abertura é resultado do somatório de perdas lineares, que levam em conta a rugosidade e o comprimento do percurso, sendo representadas por λ . As perdas pontuais ξ descrevem a perda de pressão total de uma tubulação provocadas por peças como curvas e joelhos. Assim, a resistência total imposta ao fluxo em um duto é representada por ζ , variável adimensional e obedece à equação:

$$\zeta = \lambda + \xi \quad (4)$$

Detecta-se uma confusão de convenções simbólicas na literatura, pois Etheridge (2012) utiliza ξ para representar as perdas totais em uma tubulação, enquanto Zhou et al (2005) e Cóstola (2006) utilizam a letra grega ζ para descrever esta resistência.

É conhecida a relação entre C_d e o coeficiente de perda por resistência (ETHERIDGE, 2012; ZHOU, 2005), podendo ser expressada através da seguinte equação:

$$\xi = \sqrt{\frac{1}{C_d^2}} \quad (5)$$

Na prática o valor calculado para ξ já serve como coeficiente de perda total

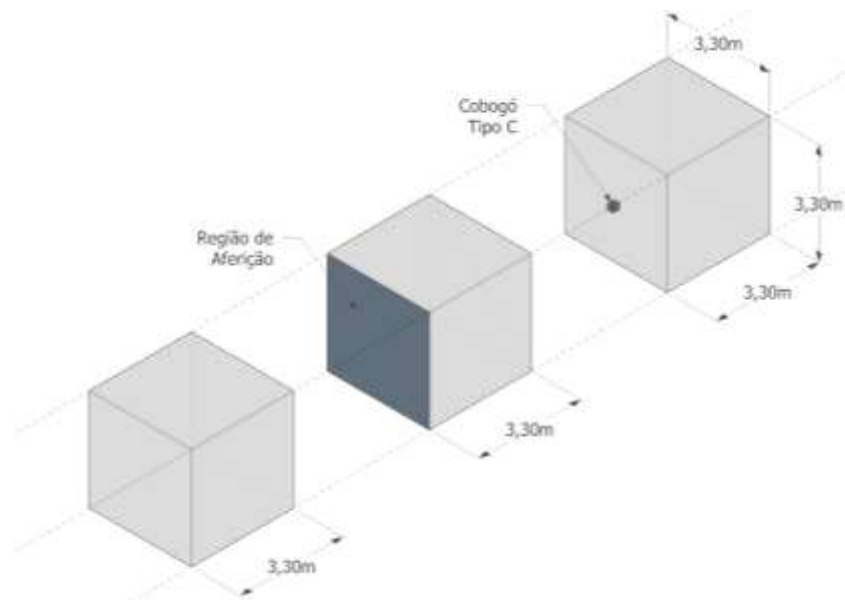
ζ , uma vez que em aberturas com pouca profundidade pode-se desprezar λ , como constatado pelo valor típico de C_d para esquadrias comuns, reforçado por Etheridge (2012). Assim, temos que:

$$K_{s_{\text{loss}}} = \xi \quad (6)$$

Orienta-se dividir o valor de $K_{s_{\text{loss}}}$ pela distância do meio poroso na direção do fluxo (ANSYS CFX, 2014). Em um cobogó de 0,20 m temos, no campo do Coeficiente de Perda, cinco vezes o valor de ξ .

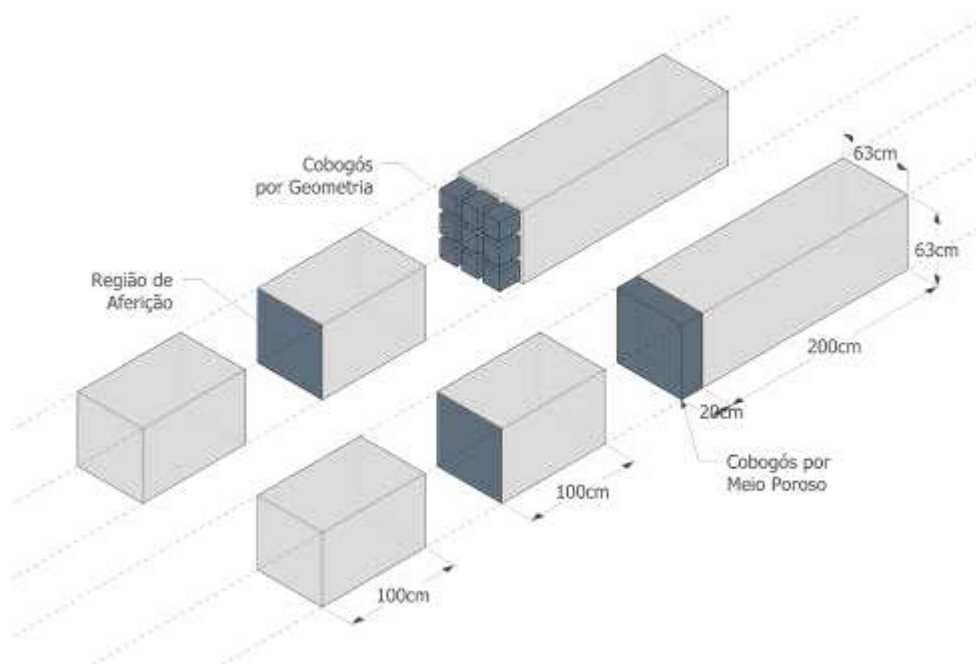
Optou-se por analisar as características do cobogó tipo C como peça isolada e em pano. Na simulação com a peça isolada, o domínio criado possui área da secção frontal de 10,89 m² (Figura 1), enquanto que para cobogós associados paralelamente foi empregado um domínio duplo para simulação simultânea (Figura 2).

Figura 1 – Domínio do cobogó isolado



Fonte: os autores

Figura 2 – Domínio duplo do pano de cobogó



Fonte: os autores

3 RESULTADOS

3.1 Cobogó isolado modelado geometricamente

A malha contou com 6.385.337 elementos. O maior valor de y^+ encontrado foi 5,58. Para tal situação, o C_d foi calculado em 0,615 - valor coerente com o indicado pela literatura (ETHERIDGE, 2012; ZHOU et al, 2005; FROTA; SCHIFFER, 2003). A partir do C_d encontrado, ξ foi definido em 2,643.

3.2 Cobogó isolado modelado por meio poroso

A malha contou com 6.341.700 elementos. O maior valor de y^+ encontrado foi de 9,41. Para um ξ equivalente ao C_d de 0,615 e dividido pela espessura do cobogó, temos que K_{loss} é igual a 13,22. Ao informar o domínio poroso com este valor, o C_d foi calculado em 0,63 - valor 2,4% acima do original.

3.2 Pano de cobogó modelado em paralelo

A malha de ambos domínios isolados totalizou 6.198.407 elementos, e o valor máximo de y^+ registrado foi de 25.

Ao associar os cobogós em paralelo com modelos geométricos, o coeficiente de descarga resultante (C_{dR}) foi de 0,93. Este C_{dR} é igual ao resultado de uma adaptação empírica da equação 3 para o caso específico de cobogós idênticos associados em paralelo (equação 7).

$$C_{dR} = 1 - \frac{C_d}{N} \quad (7)$$

O domínio poroso foi modelado com coeficiente de resistência $K_{loss} = 13,22$. Como resultado, o C_{dR} obtido foi de 0,943 – 1% acima do valor teórico calculado.

4 CONCLUSÕES

Os resultados mostram que é possível utilizar o domínio poroso para representar adequadamente a resistência imposta ao fluxo pelos cobogós tanto na configuração de peça isolada como em pano.

O C_d para cobogós comuns pode ser considerado como 0,61. A depender do tipo de peça, os campos de porosidade e permeabilidade podem ser facilmente calculados. É possível a adaptação do método a outros tipos, formas e características de cobogós, o que se mostra essencial diante da liberdade criativa inerente ao processo de projeto.

Na configuração em pano é possível calcular o C_{dR} a partir da observação empírica destacada, convertê-lo para o parâmetro de resistência ao fluxo e utilizá-lo em um domínio poroso.

Não obstante, é conhecida a forte dependência do valor de C_d com o ângulo de incidência dos ventos (ETHERIDGE, 2012; ZHOU, 2005; CÓSTOLA, 2006). Passos futuros apontam para experimentos que estudem ventos com incidências oblíquas à parede para melhor analisar o comportamento tanto dos cobogós enquanto domínio poroso, bem como o impacto da simplificação da malha do domínio poroso para simulações CFD integradas ao processo de projeto.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Energia Pecém e ANEEL pelo incentivo financeiro e encorajamento que possibilitaram esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ANSYS CFX. Release 16. SAS IP Inc. 2014.

CÓSTOLA, D. **Ventilação por ação do vento no edifício**: procedimentos para quantificação. São Paulo, SP. Dissertação de mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. 2006.

CÓSTOLA, C.; ALUCCI, M. P.; ETHERIDGE, D. Caracterização de janelas no cálculo de vazão por meio do coeficiente de descarga. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10, ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2009, Natal. **Anais...** Natal: ANTAC, 2009.

ETHERIDGE, D. **Natural Ventilation of Buildings**: Theory, Design and Measurement. Wiley, 2012.

ETHERIDGE D. W.; SANDBERG, M. **Building Ventilation**: theory & measurement. Chichester: John Wiley & Sons, 1996.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. Editora Nobel, 7 ed., São Paulo, 2003.

GIVONI, B. **Passive and Low Energy Cooling of Buildings**. 1a. ed. New York: John Wiley & Sons, 1994.

LEITE, R. C. V. **Cidade, vento, energia**: limites de aplicação da ventilação natural para o conforto térmico face à densificação urbana em clima tropical úmido. São Paulo, SP. Tese de doutorado em Arquitetura e Urbanismo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. 2015.

NETO, E.; SILVA, R. C. **Cobogó Computacional**: Da computação material e da atualização de elementos vazados na arquitetura. XVI ENTAC, 2016.

NICOL, J. F. **Adaptive thermal comfort standards in the hot-humid tropics**. *Energy and Buildings* 36: 7, 628-637, 2004.

OLIVEIRA, N. **Superfícies abstratas**: o elemento cerâmico como textura na arquitetura moderna brasileira In: IV SEMINÁRIO DO COMOMO SUL: Pedra, barro e metal - Norma e licença na arquitetura moderna do cone sul americano, 1930/70, 2013.

ZHOU, J. L.; ZHANG, G. Q.; MO, Z. J.; DENG, Q. H. A Review on the Concept of Discharge Coefficient for Designing Natural Ventilation in Buildings. **Proceedings: Indoor Air**, 2005.