



6 a 8 de outubro de 2010 - Canela RS

ENTAC 2010

XIII Encontro Nacional de Tecnologia
do Ambiente Construído

PROPOSIÇÃO DE UM MÉTODO DE ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE PRESSÃO EM ABERTURAS DE EDIFICAÇÕES NATURALMENTE VENTILADAS COM USO DO CFD

Leonardo Jorge Brasil de Freitas Cunha

(1) Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo – Centro de Tecnologia – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil – e-mail: leonardo_cunha83@yahoo.com.br

RESUMO

A ventilação natural pode reduzir o consumo energético da edificação e proporcionar ambientes salubres e termicamente confortáveis. Contudo, as incertezas envolvidas no fenômeno e a consequente dificuldade em prever o comportamento do vento no ambiente interno é comumente utilizada como argumento pelos projetistas que negligenciam os benefícios do condicionamento passivo. A ventilação natural dos ambientes é induzida pela diferença de pressão do ar nas aberturas. O parâmetro que caracteriza a distribuição da pressão exercida pelo vento ao redor da edificação denomina-se Coeficiente de Pressão (CP). A medição da pressão sobre a envoltória é complexa, pois depende da velocidade e direção do vento, da dimensão e forma da edificação e da posição e tamanho das aberturas. Há diferentes métodos para estimar o CP ao redor da edificação e o projetista interessado em quantificar o desempenho da ventilação deve conhecer e aplicar algum destes métodos. A participação do autor no Grupo de Pesquisa Conforto Ambiental e Eficiência Energética/ UFRN – CNPq mostrou que os estudantes e profissionais de arquitetura são mais propensos a assimilar os conceitos quando estes são representados graficamente. A simulação computacional de dinâmica dos fluidos é uma ferramenta aplicável às diversas fases do processo projetual, capaz de prever o comportamento da ventilação na edificação. Os resultados de uma simulação permitem aferir a distribuição da pressão do vento nas aberturas de um modelo virtual. O presente trabalho apresenta o levantamento dos métodos de estimativa do CP sobre as aberturas e compara os resultados de um destes métodos com os dados resultantes de uma simulação em CFD, visando uma validação mútua das abordagens. Em seguida, é proposto um recurso gráfico para estimar o CP durante o desenvolvimento do projeto, bem como para edificações já construídas. Por fim, são discutidas questões pertinentes ao procedimento adotado, as aplicações e as limitações.

Palavras-chave: Ventilação Natural, Coeficiente de pressão, Simulação computacional.

1 INTRODUÇÃO

O Coeficiente de pressão - C_p é um parâmetro que caracteriza o padrão do fluxo de ar ao redor da edificação e representa as alterações na pressão estática induzidas pelo vento (ALLARD, 1998). A topografia, a rugosidade, o adensamento urbano e a volumetria da edificação afetam diretamente a distribuição do coeficiente de pressão sobre as fachadas. Comumente assume-se que o C_p independe da velocidade do vento e varia de acordo com o ângulo de incidência (LIDDAMENT, 1986). Porém, a determinação da pressão sobre as superfícies da envoltória é complexa, pois depende da velocidade e direção do vento, da dimensão e forma da edificação e da posição e tamanho das aberturas, dentre outras variáveis (CHEN, 2004).

1.1 Métodos de estimativa do Coeficiente de Pressão

O Coeficiente de pressão é definido algebricamente pela eq.1.

$$C_p = \frac{P - P_{\infty}}{\frac{1}{2} \rho V_{\infty}^2} \quad (\text{eq.1})$$

P é a pressão causada pelo vento (Pa);

P_{∞} é a pressão estática para o vento livre, na altura de referência (Pa);

ρ é a massa volumétrica (kg/m^3), e

V_{∞} é a velocidade do vento livre, na altura de referência (m/s).

Esta equação permite afirmar que o coeficiente de pressão igual a zero significa que a pressão no ponto é a mesma do fluxo livre. Valores positivos significam que o fluxo de ar está ‘empurrando’ a fachada, como acontece nas faces da envoltória a barlavento, e valores negativos indicam que a pressão do ar está ‘succionando’ a fachada o que geralmente ocorrem nas superfícies a sotavento.

Apesar da simplicidade da equação, ela envolve incógnitas de difícil aferição na situação real, tais como pressão dinâmica e velocidade do vento em um ponto específico. Alguns métodos foram desenvolvidos na tentativa de simplificar o uso dos coeficientes de pressão. Todavia, não há uma maneira que seja simples e confiável ao mesmo tempo para determinar a distribuição de pressão no entorno da edificação. As várias formas que o fluxo de ar pode apresentar simultaneamente, somada a variação das condições externas, torna a predição ainda mais complexa (BONNEAUD, et al., 2001).

Os estudos para determinar os coeficientes de pressão ao redor de uma edificação são geralmente realizados em túneis de vento através de sólidos prismáticos com proporções análogas aos edifícios reais. Os resultados destes estudos são específicos e aplicáveis às edificações similares ao modelo experimentado. A extrapolação dos resultados para situações diversas pode gerar conclusões equivocadas.

Dentre os métodos desenvolvidos para estimar o coeficiente de pressão, destacam-se as representações gráficas, os modelos algébricos, os dados tabelados e os softwares. Cada método apresenta vantagens e limitações de uso e aplicação.

1.1.1 Representações gráficas das isóbaras

A estimativa do coeficiente de pressão pode ser apresentada na forma de isóbaras desenhadas sobre a representação esquemática das fachadas em diferentes orientações. A ASHRAE apresenta os estudos de Holmes (1986, apud ASHRAE, 2001) para edificações térreas com comprimento maior do que a largura e coberta de duas águas (Figura 1a). Para edificações verticais, a norma americana traz os estudos de Davenport e Hui (1982, apud ASHRAE, 2001) (Figura 1b). No caso da edificação térrea, os testes foram realizados a cada 45° e na edificação vertical, a cada 15° . Ambos os estudos comprovam que os coeficientes de pressão são máximos quando o vento incide perpendicularmente à fachada e tendem de se aproximar de zero à medida que o vento passa a incidir obliquamente. Os valores são mínimos nas fachadas a sotavento, entretanto os menores valores são encontrados entre 120° e 150° no caso das edificações térreas e entre 75° e 90° nas edificações verticais. Ou seja, no caso dos coeficientes de pressão negativos os menores valores não estão na fachada exatamente oposta ao fluxo de ar.

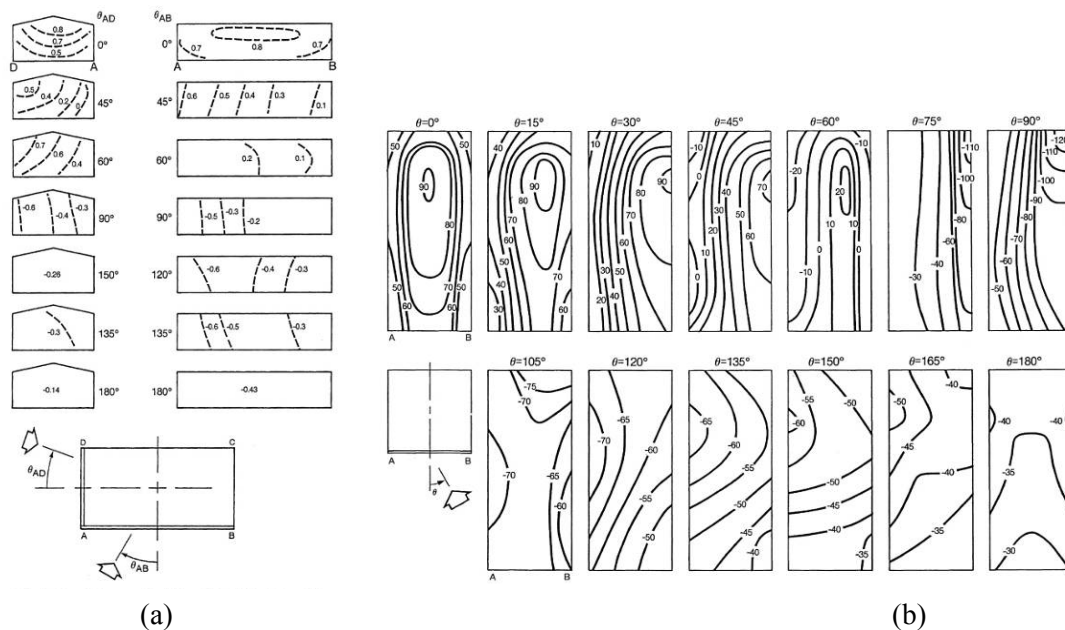


Figura 1 - Isóbaras para edificações (a) horizontais e (b) verticais. Fonte: Holmes (1986) e Davenport e Hui (1982), apud ASHRAE (2001).

1.1.2 Modelos algébricos

Os modelos algébricos se baseiam em equações que permitem avaliar a diferença de pressão sobre as fachadas por meio de planilhas eletrônicas, o que facilita a análise das alternativas projetuais sem a necessidade da aferição visual como ocorre com as isóbaras. Todavia, as equações desconsideram o gradiente de pressão sobre as fachadas, pois apresentam valores médios do coeficiente de pressão, o que tende a mascarar a amplitude dos dados.

Lamberts et.al. (2000) apresenta um método algébrico simplificado para o cálculo da diferença do coeficiente de pressão em fachadas opostas - ΔC_p de edificações isoladas através de duas equações que consideram exclusivamente o ângulo de incidência (Tabela 1).

Tabela 1 - Diferença do coeficiente de pressão do vento para edificações térreas em campo aberto

Ângulo de incidência (θ), em graus	Diferença do coeficiente de pressão do vento (ΔC_p)
$0 \leq \theta \leq 30^\circ$	1,2
$30^\circ < \theta \leq 90^\circ$	$0,1 + 0,0183 \times (90 - \theta)$

Fonte: Lamberts, et. al (2000)

O autor propõe, também, uma correção para loteamentos de acordo com a distância entre as edificações. Quando a distância entre as casas for igual ao comprimento da casa, deve-se multiplicar o valor de ΔC_p por 0,3 e quando a distância for igual a duas casas, multiplica-se o ΔC_p por 0,6. A própria definição das equações revela a sua invariabilidade nos primeiros 30° e o decaimento linear dos valores, tendendo à zero quando o ângulo de incidência se aproxima de 90° (Gráfico 1).

Swami e Chandra, (apud ASHRAE, 2001) apresentam uma equação que considera o ângulo de incidência e a relação entre comprimento e largura da edificação para estimar o coeficiente de pressão nas fachadas (eq.2). De acordo com os autores, a equação foi desenvolvida a partir de uma base de dados contendo 544 valores médios de C_p de oito prédios baixos e um prédio alto.

$$C_p = \ln[1,248 - 0,703\sin(\alpha/2) - 1,175\sin^2(\alpha) + 0,131\sin^3(2\alpha G) + 0,769\cos(\alpha/2) + 0,07G^2\sin^2(\alpha/2) + 0,717\cos^2(\alpha/2)] \quad (\text{eq.2})$$

α é o ângulo entre a direção do vento e a normal da parede considerada, em graus

G é o logaritmo natural da razão entre a largura da parede considerada e a largura da parede adjacente

Buscando avaliar o comportamento desta equação realizou-se um teste de sensibilidade através de cinco modelos hipotéticos, que apresentam relação entre largura da fachada incidente e largura da fachada adjacente iguais à 1/2, 1, 2, 5 e 10 respectivamente. Aplicou-se a equação para os ângulos de incidência compreendidos entre 0° e 180°. Observa-se que o comportamento do coeficiente de pressão é muito semelhante para todos os modelos, com variações mínimas para os primeiros 90° de incidência do vento. A partir dos 90° é que o modelo com maior diferença entre as fachadas começa a ter um comportamento diferente dos demais (Gráfico 2).

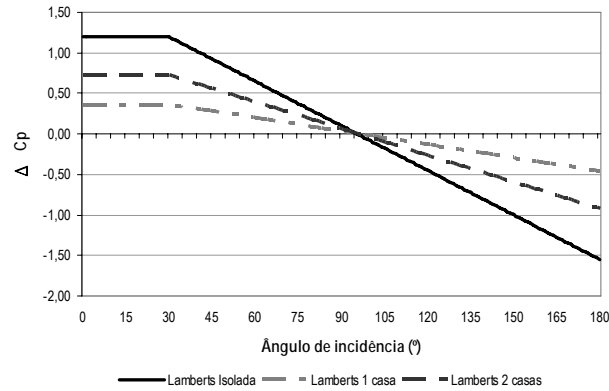


Gráfico 1 - Diferença de coeficiente de pressão em fachadas opostas. Fonte: Elaborado a partir de Lamberts et.al (2000).

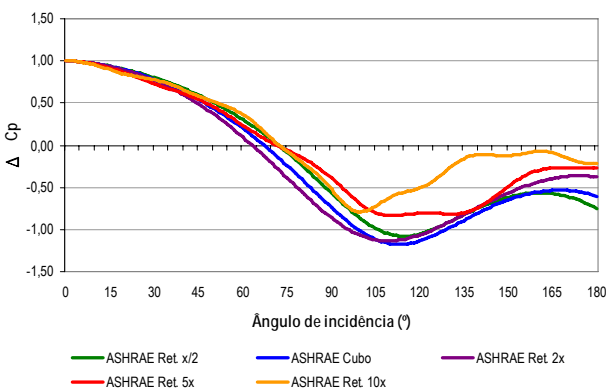


Gráfico 2 - Diferença de coeficiente de pressão em fachadas opostas. Fonte: Elaborado a parir de Swami e Chandra apud ASHRAE (2001).

1.1.3 Dados tabelados

A distribuição dos Coeficientes de pressão pode ser tabulada (Figura 2), cujos dados podem resultar de testes empíricos ou de modelos matemáticos aplicados sobre volumetrias simplificadas. Como os resultados são específicos da relação entre largura, comprimento e altura adotada nos estudo, faz-se necessário uma grande quantidade de tabelas visando contemplar as situações mais recorrentes. Além disto, as tabelas costumam apresentar valores médios, desconsiderando o gradiente de pressão sobre a fachada. Para evitar tabelas extensas, os resultados de Cp são apresentados para valores específicos de ângulos de incidência, logo quando o intervalo é muito grande, a estimativa do Cp para um ângulo intermediário fica prejudicada.

Edificações com até 3 Pavimentos

Relação Comprimento x Largura: 1:1

Condição da cobertura: Exposta

Nível de referência da velocidade do vento: Altura do Edifício

Apêndice B.1

Dados dos coeficientes das pressões do vento para edificações comuns com tipologia simples.

Fonte: Liddament, 1986

	Ângulo do Vento							
Local	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Fachada 1	0,7	0,35	-0,5	-0,4	-0,2	-0,4	-0,5	0,35
Fachada 2	-0,2	-0,4	-0,5	0,35	0,7	0,35	-0,5	-0,4
Fachada 3	-0,5	0,35	0,7	0,35	-0,5	-0,4	-0,2	-0,4
Fachada 4	-0,5	-0,4	-0,2	-0,4	-0,5	0,35	0,7	0,35

Telhado (<10° de inclinação)								
Frente	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7
Fundo	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5
Média	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6

Telhado (<11°-30° de inclinação)								
Frente	-0,4	-0,5	-0,6	-0,5	-0,4	-0,5	-0,6	-0,5
Fundo	-0,4	-0,5	-0,6	-0,5	-0,4	-0,5	-0,6	-0,5
Média	-0,4	-0,5	-0,6	-0,5	-0,4	-0,5	-0,6	-0,5

Telhado (>30° de inclinação)								
Frente	0,3	-0,4	-0,6	-0,4	-0,5	-0,4	-0,6	-0,4
Fundo	-0,5	-0,4	-0,6	-0,4	0,3	-0,4	-0,6	-0,4
Média	-0,1	-0,4	-0,6	-0,4	-0,1	-0,4	-0,6	-0,4

Figura 2 - Exemplo de CP tabelado. Fonte: Liddament (1986), apud Bitencourt e Cândido (2005).

1.1.4 Softwares

Os *softwares* de simulação termo-energético calculam o coeficiente de pressão com base em arquivos pré-configurados, denominados *templates*. Todavia, os tutoriais nem sempre deixam claro a origem e os dados contidos nestes *templates*. A manipulação do Cp, quando disponível, é feita por arquivo de texto ou inseridos numericamente. Apesar de possuírem interface CAD, os *softwares* não permitem visualizar a distribuição dos coeficientes de pressão sobre o modelo simulado. A dificuldade em tratar

o C_p pode levar o operador a adotar um *template* pouco representativo ou incompatível com a situação real.

O TAS (EDSL, 2008) dispõe de algoritmo próprio para o cálculo do coeficiente de pressão sobre as fachadas e permite que estes valores sejam inseridos pelo usuário via arquivo de texto (Figura 3a). O Design Builder (DBS, 2009), apresenta em sua biblioteca interna 12 *templates* que agrupam três tipos de exposição, combinadas a três diferentes ângulos de incidência e possui a opção de criação e edição (Figura 3b).

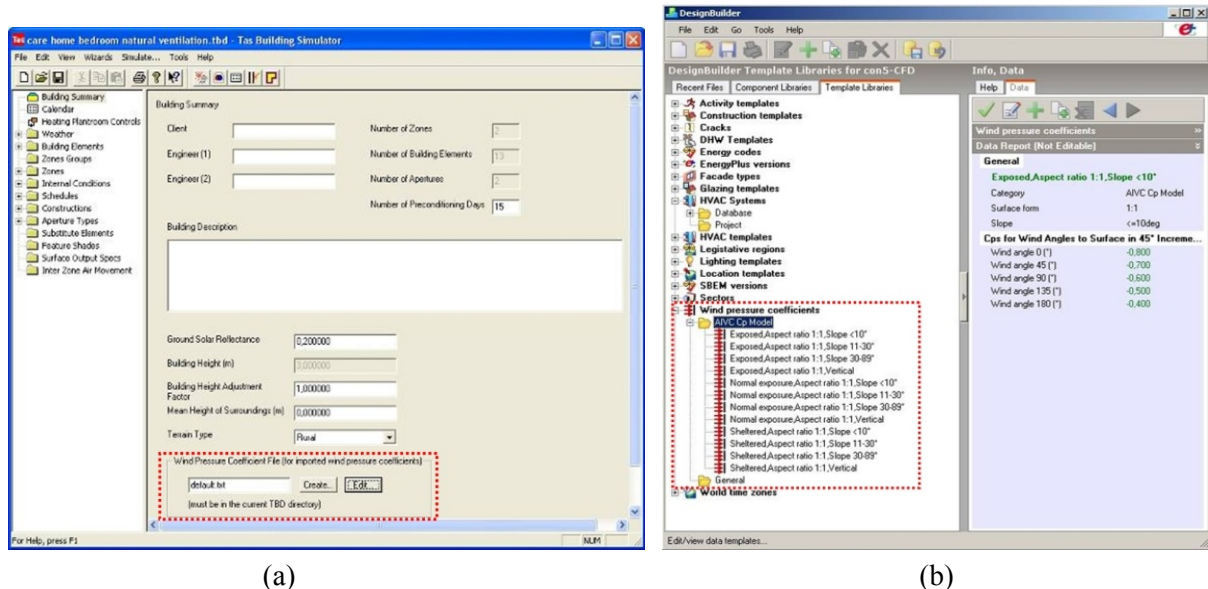


Figura 3 – (a) Tela do *software* TAS com destaque para a entrada do arquivo contendo os C_p e (b) Tela do *software* Designbuilder, com destaque para os *templates* pré-configurados de C_p .

Fonte: EDSL (2008), adaptado e DBS (2009), adaptado.

O CpCalc+ (GROSSO, 1995) é um *software* específico para o cálculo do coeficiente de pressão (Figura 4a) e pode ser utilizado para gerar os arquivos de texto lidos por outros programas de simulação computacional (Figura 4b). Apesar de ser de fácil operacionalização, o *software* não permite a modelagem tridimensional da edificação, cujas dimensões são inseridas numericamente. Também não é explicitado o algoritmo de cálculo utilizado para a determinação do coeficiente de pressão.

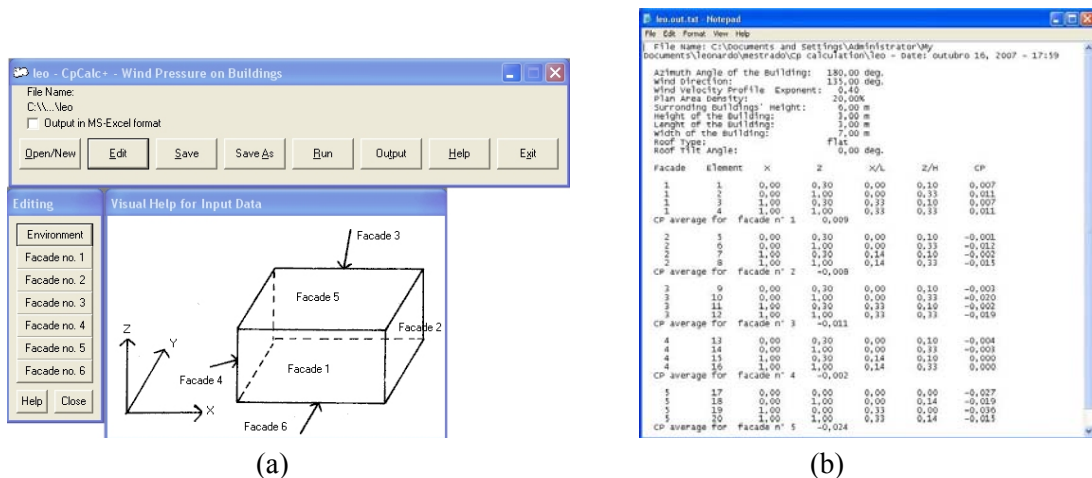


Figura 4 – (a) Interface do CpCalc+, e (b) o arquivo de texto contendo os coeficientes de pressão.

Fonte: Elaborado a partir de Grosso (1995).

Apesar da variedade de métodos para determinação dos coeficientes de pressão, as limitações de cada um deles fazem com que sejam aplicáveis apenas a casos específicos, seja em função da orientação, da

forma ou da complexidade dos elementos arquitetônicos envolvidos. Uma maneira bastante eficaz para determinar o coeficiente de pressão é através da confecção de maquetes físicas para ensaios em túneis de vento ou da modelagem virtual para a simulação em CFD, sigla em inglês para ‘dinâmica computacional de fluidos’. Ambos os métodos permitem o detalhamento dos elementos arquitetônicos da fachada, do entorno, bem como da forma de edificações que apresentam planta complexa (não-retangular) e/ou em qualquer orientação.

2 OBJETIVO

O presente trabalho apresenta o levantamento dos métodos de estimativa do CP sobre as aberturas e compara os resultados de um destes métodos com os dados resultantes de simulações em CFD, visando uma validação mútua das abordagens. Em seguida, é proposto um recurso gráfico para estimar o CP durante o desenvolvimento do projeto, bem como para edificações já construídas.

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada para o desenvolvimento deste estudo baseia-se na simulação de modelos isolados com dimensões típicas das adotadas na fase de esboço e com diferentes combinações de tamanho de abertura. Simulou-se, então, o comportamento da distribuição de pressão sobre as aberturas considerando diferentes ângulos de incidência do vento. O objetivo seria avaliar a influência das variáveis tamanho de abertura e ângulo de incidência no desempenho da ventilação. Conhecendo-se o grau de atuação destas variáveis é possível estabelecer critérios de prioridades a serem atendidos desde as fases iniciais do processo projetual visando potencializar o uso da ventilação natural. Porém, durante o desenvolvimento da pesquisa, a metodologia precisou se ajustar às limitações impostas, principalmente, pela operacionalização do *software* adotado: o Cf-x (ANSYS, 2007). Paralelamente aos ajustes da metodologia em função das simulações computacionais, foram estimados os coeficientes de pressão através do método de cálculo simplificado, apresentado no item 1.1.2 a fim de comparar os resultados de ambas as abordagens. Deste modo, a metodologia utilizada neste trabalho ficou definida pela comparação de indicadores da ventilação natural, obtidos por dois métodos distintos, com o objetivo de elaborar uma ferramenta gráfica de estimativa do coeficiente de pressão que fosse compatível com as primeiras fases do processo projetual, visando potencializar o uso da ventilação natural nas edificações.

3.1 Definição dos modelos para a simulação

3.1.1 Modelo

A definição dos modelos é baseada no Código de Obras de Natal, Lei Municipal nº 055/2004 (NATAL, 2004). Adotou-se as dimensões mínimas sugeridas para a sala e o local de trabalho e estudo, que possuem área de piso igual à 10,00 m² e a largura mínima deve ser de 2,40 m, com pé-direito de 2,50 m.

3.1.2 Aberturas

As relações de aberturas são baseadas nas recomendações do Código de Obras de Natal e na NBR 15220 (ABNT, 2005). De acordo com a Norma Brasileira, Natal/ RN está inserida na Zona Bioclimática nº 8 para a qual é recomendada grandes aberturas para ventilação. A área mínima de abertura regulada pelo Código de Obras é 1/6 da área de piso, o que corresponde a pouco mais de 16%. Tanto o Código de Obras quanto a Norma Brasileira dimensionam as aberturas em função da área de piso, mas, com diferentes percentuais, conforme descrito na Tabela 2.

Tabela 2 - Diferença do coeficiente de pressão do vento para loteamentos

Área de piso (m ²)	Fração da área de abertura (Código de Obras)	Área de abertura (NBR 15220)
10,00	1/6 da área de piso (ou ≈16,7%)	Pequenas aberturas: 10% < A < 15%
		Aberturas médias: 15% < A < 25%
		Grandes aberturas: A > 40%

Fonte: Fonte: Elaborado a partir do Código de Obras (NATAL, 2004) e da NBR 15220 (ABNT, 2005)

A recomendação de área mínima para ventilação do Código de Obras de Natal é próxima ao limite inferior do que a Norma Brasileira classifica como abertura média e bem inferior à abertura grande.

Objetivando avaliar o desempenho das recomendações prescritas tanto na Norma Brasileira, quanto no Código de Obras, adotou-se três modelos com diferentes tamanhos de abertura: a pequena com 1,25 m² (Figura 5a), a média com 2,00 m² (Figura 5b) e a grande com 4,00 m² (Figura 5c) respectivamente. Considerando a infinidade de formas possíveis, adotou-se aberturas quadradas em todos os casos, por ser uma forma geométrica regular e recorrente na arquitetura. As aberturas foram posicionadas nas menores fachadas e com fluxo de ar cruzando a sala longitudinalmente.

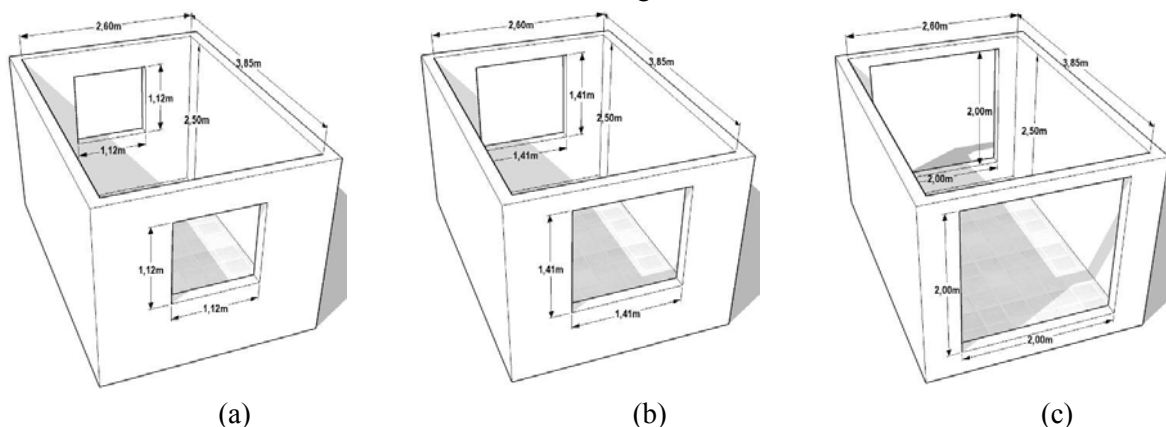


Figura 5 – (a) Modelo 01: abertura pequena, (b) Modelo 02: abertura média, e (c) Modelo 03: abertura grande.

3.1.3 Domínio

O domínio consiste em um prisma de base retangular, medindo 12 m de largura, 20 m de comprimento e 7 m de altura (Figura 6a). Estas dimensões foram adotadas visando compatibilizar dois aspectos imprescindíveis para a simulação: prover um domínio cujas superfícies não interfiram no desenvolvimento do escoamento e com dimensões suficientes para que o número de células não extrapole a capacidade de processamento do software. A velocidade de 3,5 m/s empregada nas simulações foi obtida através da curva de distribuição Weibull aplicada aos dados do arquivo climático de Natal/RN do ano de 2009 (LAVAT-INPE/CRN, 2009). O fluxo de ar se desenvolve no sentido longitudinal do domínio, com entrada e saída de ar em faces opostas. O modelo foi colocado, inicialmente, com a fachada que contém a abertura paralela à entrada de ar e com recuo de 5 m (Figura 6b). Para simular as diferentes incidências do vento, rotacionou-se o modelo sobre seu próprio eixo em intervalos de 15° (Figura 6c). O critério de convergência adotado seguiu a recomendação contida no tutorial do CF-x, o qual aponta resíduos inferiores a 5×10^{-4} como sendo uma convergência satisfatória para os problemas de engenharia.

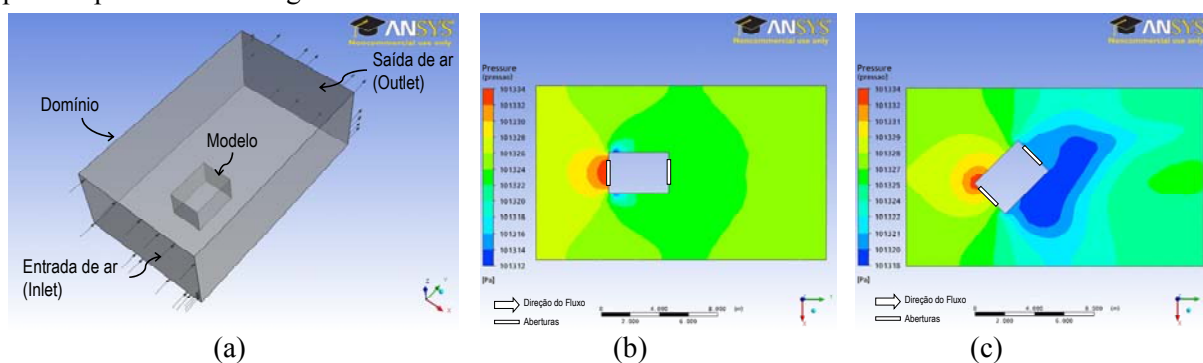


Figura 6 – (a) Exemplo do domínio com o modelo orientado para incidência de 0°; (b) Campo de pressão à meia altura da abertura com ângulo de incidência de 0°; e (c) Campo de pressão à meia altura da abertura com ângulo de incidência de 45°

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

O vento é induzido pela diferença de pressão entre pontos que possuem uma ligação física entre si. Logo, torna-se imprescindível a determinação da diferença entre os coeficientes de pressão - ΔC_p nas aberturas de entrada e de saída do ar. Dada as especificidades do modelo adotado, planta baixa retangular e com aberturas dispostas em faces opostas, a simulação do ΔC_p foi realizada para os ângulos de incidência entre 0° e 90° , em intervalos de 15° . Considerando a simetria do modelo adotado, fica claro que o ΔC_p se repete para os demais ângulos de incidência. De acordo com os resultados da simulação o ΔC_p é de aproximadamente 1,2 nos primeiros 30° , então passa a cair rapidamente, estabilizando em torno de 0,4 a partir dos 75° . Comparando estes resultados com o método de estimativa proposto por Lamberts et.al. (2000), conforme descrito na Tabela 1, percebe-se forte aproximação entre os valores, o que reforça a eficácia do método algébrico para casos simplificados (Gráfico 3).

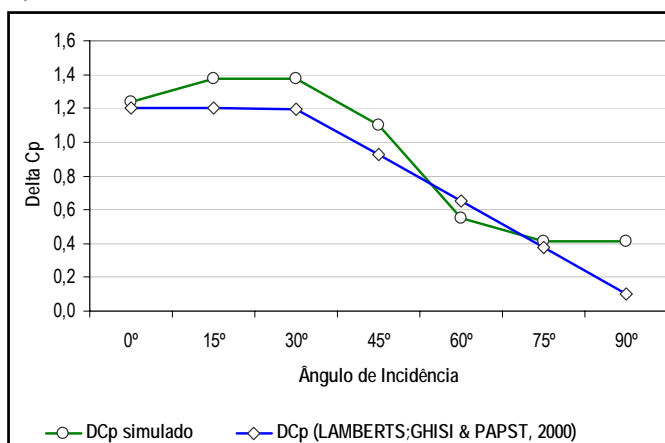


Gráfico 3 – Comparação entre o coeficiente de pressão simulado e estimado.

4.1 Proposta de recurso gráfico para estimativa do Coeficiente de Pressão

Aplicando os dados de pressão dos modelos simulados na Equação 1 é possível estimar o coeficiente de pressão nas aberturas para todas as orientações. Comparando os valores do coeficiente de pressão médio, percebe-se a que a variação é função, principalmente, do ângulo de incidência, havendo pouca variação em relação ao tamanho da abertura (Figura 7a). Entretanto, analisando isoladamente cada tipo de abertura, percebe-se uma amplitude significativa do gradiente de pressão, com maior ênfase na abertura grande. Nota-se que o gradiente de pressão é maior para a incidência oblíqua e nas zonas a sotavento. (Figuras 7b, 8c e 8d). O gradiente de pressão sobre a abertura é especialmente útil no caso da ventilação unilateral.

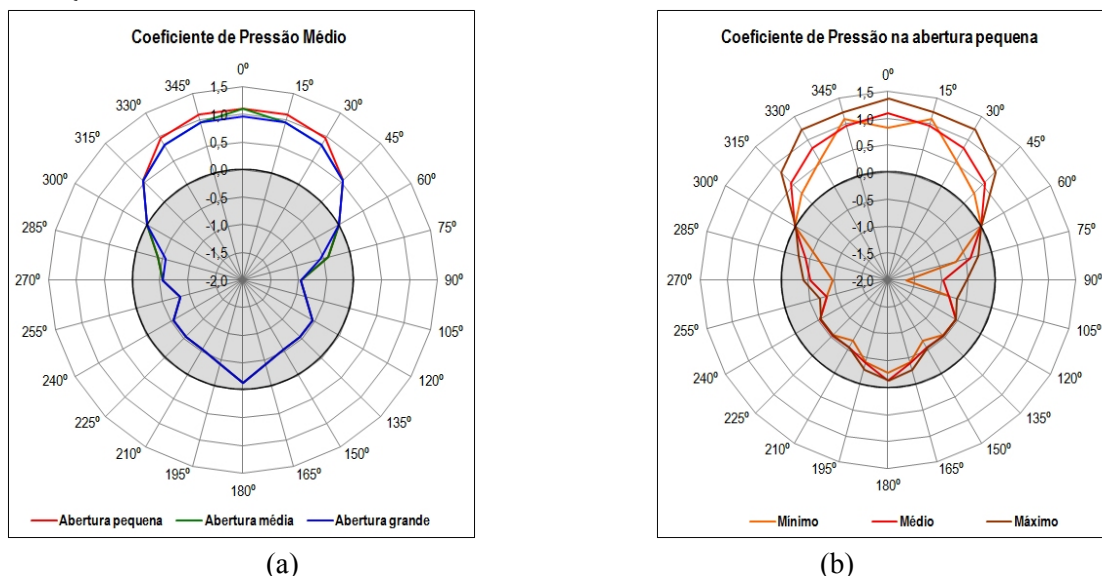
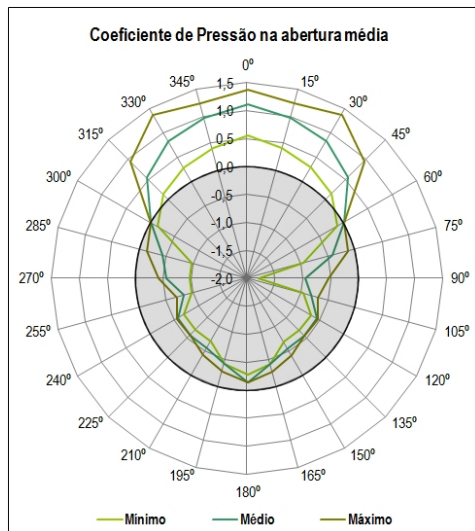
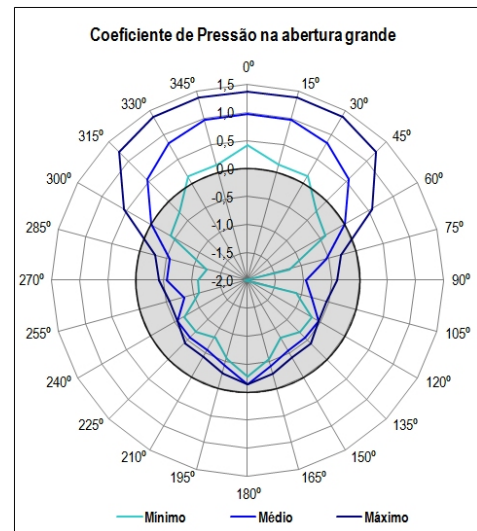


Figura 7 – (a) Gráfico dos coeficientes de pressão médios simulados, e (b) Gráfico da variação dos coeficientes de pressão na abertura pequena.



(a)



(b)

Figura 8 – (a) Gráfico da variação dos coeficientes de pressão na abertura média, e (b) Gráfico da variação dos coeficientes de pressão na abertura grande.

Quanto aos valores, na média, o coeficiente de pressão é próximo a 1 quando o vento incide perpendicularmente à abertura de entrada e permanece constante nos primeiros 30°. A partir de então, o coeficiente decresce rapidamente, sendo nulo para a incidência em torno dos 60°. Os valores mínimos são encontrados quando o escoamento incide paralelamente à fachada que contém a abertura e volta a crescer, mesmo que ainda continue com valores negativos, a medida que o ângulo de incidência se aproxima dos 180°.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este recurso pode ser utilizado tanto durante a fase de projeto, quanto para edificações já construídas, basta alinhar a direção do 0° do gráfico com a normal da abertura, conforme ilustrado na Figura 9. Logo, é possível estimar o CP de acordo com o ângulo de incidência do vento.

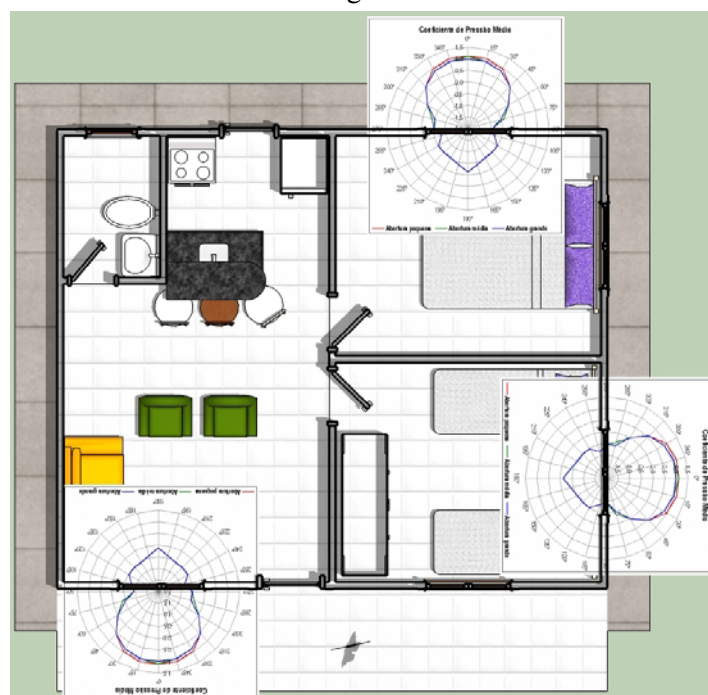


Figura 9 – Exemplo de utilização do recurso gráfico proposto.

6 REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR15220-3: Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**, Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- ALLARD, F. **Ventilation in building: a design handbook**. Londres: James & James, 1998. 356p
- ANSYS. **Cf-x Workbench™ 11.0 SP1**. Canonsburg, 2007.
- ASHRAE. **ASHRAE handbook of fundamentals**. New York: ASHRAE, 2001.
- BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. **Introdução à ventilação natural**. Maceió: EDUFAL, 2005.
- BONNEAUD, F., et al. **Simulation of the wind in hot and humid climates cities: evaluation of the natural ventilation potential of the housing in urban blocks**. Building Simulation. 109 - 116, 2001.
- CHEN, Q. Y. **Using computational tools to factor wind into architectural environment design**. Energy and Buildings. 1197-1209, 2004.
- DBS. **DesignBuilder v.2.0.2**. Londres, DesignBuilder Software Ltd, 2009.
- EDSL. **Tas Building Simulator 9.09e**. Reino Unido, 2008.
- GROSSO, M. **CpCalc+ v. 3.001**. Torino, Dipartimento di Scienze e Tecniche per i Processi di Insediamento, 1995.
- LAMBERTS, R., et al. **Desempenho térmico de edificações**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.
- LAVAT-INPE/CRN. **Planilhas da estação climatológica/solarimétrica**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009.
- LIDDAMENT, M. W. **Air infiltration calculation techniques: an applications guide**. Grã-Bretanha: The Air Infiltration and Ventilation Centre, 1986.
- NATAL. **Código de Obras e Edificações do Município de Natal. Lei Complementar Nº 055, de 27 de janeiro de 2004**. Diário Oficial do Município, Natal, RN, 34p., 2004.

7 AGRADECIMENTOS

O autor gostaria de agradecer à CAPES pela bolsa de estudo disponibilizada para a elaboração da dissertação de mestrado, da qual resultou este artigo, e ao CNPq pelo financiamento do Projeto de Pesquisa “Aplicação da Simulação Computacional de Fluidos no Suporte às Decisões Projetuais Arquitetônicas para Aplicação da Ventilação Natural no Ambiente Construído”, coordenado pelo Professor Dr. Aldomar Pedrini, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.