



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
Campus Universitário – Trindade
Florianópolis – SC – CEP 88040-900
Caixa Postal 476

lab**EEE** | LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

**MANUAL DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE EDIFÍCIOS
NATURALMENTE VENTILADOS NO PROGRAMA *ENERGYPLUS* –
Versão 9.0.1**

Rodolfo Kirch Veiga

Leticia Gabriela Eli

Marcelo Salles Olinger

Leonardo Mazzaferro

Helena Aviz da Costa Pereira

Ana Paula Melo

Rogério Versage

Márcio Sorgato

Roberto Lamberts

Florianópolis, julho de 2020.

INFORMAÇÕES GERAIS

Este manual foi elaborado com o objetivo de auxiliar o usuário do programa *EnergyPlus* a inserir os parâmetros necessários para simular edificações naturalmente ventiladas, utilizando a versão 9.1 do programa. A elaboração do manual baseou-se nos resultados de simulações computacionais com a integração da ventilação natural, e nos documentos *Input Output Reference* e *Engineering Reference*, fornecidos pelo programa *EnergyPlus*. O manual é apresentado de forma clara e objetiva, descrevendo cada parâmetro de entrada necessário para a utilização da estratégia de ventilação natural nas edificações.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	5
2	O PROGRAMA COMPUTACIONAL ENERGYPLUS	8
3	AIRFLOW NETWORK	9
3.1	<i>AIRFLOWNETWORK:SIMULATION:CONTROL</i>	9
3.1.1	Field: Name	9
3.1.2	Field: AirflowNetwork Control	10
3.1.3	Field: Wind Pressure Coefficient Type	10
3.1.4	Field: Height Selection for Local Wind Pressure Calculation	11
3.1.5	Field: Building Type	11
3.1.6	Field: Maximum Number of Iterations	12
3.1.7	Field: Initialization Type	12
3.1.8	Field: Relative Airflow Convergence Tolerance	12
3.1.9	Field: Absolute Airflow Convergence Tolerance	12
3.1.10	Field: Convergence Acceleration Limit	12
3.1.11	Field: Azimuth Angle of Long Axis of Building	12
3.1.12	Field: Ratio of Building Width Along Short Axis to Width Along Long Axis	13
3.2	<i>AIRFLOWNETWORK:MULTIZONE:ZONE</i>	13
3.2.1	Field: Zone Name	13
3.3	<i>AIRFLOWNETWORK:MULTIZONE:SURFACE</i>	13
3.3.1	Field: Surface Name	13
3.3.2	Field: Leakage Component Name	13
3.3.3	Field: External Node Name	14
3.3.4	Field: Window/Door Opening Factor, or Crack Factor	14
3.3.5	Field: Ventilation Control Mode	14
3.3.6	Field: Ventilation Control Zone Temperature Setpoint Schedule Name	15

- 3.3.7 **Field: Minimum Venting Open Factor**15
- 3.3.8 **Field: Venting Availability Schedule Name**16
- 3.4 AIRFLOWNETWORK:MULTIZONE:COMPONENT:DETAILEDOPENING17
 - 3.4.1 **Field: Name**17
 - 3.4.2 **Field: Air Mass Flow Coefficient When Opening is Closed**17
 - 3.4.3 **Field: Air Mass Flow Exponent When Opening is Closed**24
 - 3.4.4 **Field: Type of Rectangular Large Vertical Opening (LVO)**24
 - 3.4.5 **Field: Extra Crack Length or Height of Pivoting Axis**24
 - 3.4.6 **Field: Number of Sets of Opening Factor Data**25
 - 3.4.7 **Field: Opening Factor #n**25
 - 3.4.8 **Field: Discharge Coefficient for Opening Factor #n**25
 - 3.4.9 **Field: Width Factor for Opening Factor #n**26
 - 3.4.10 **Field: Height Factor for Opening Factor #n**26
 - 3.4.11 **Field: Start Height Factor for Opening Factor #n**26
- 3.5 AIRFLOWNETWORK:MULTIZONE:EXTERNAL NODE26
 - 3.5.1 **Field: Name**26
 - 3.5.2 **Field: External Node Height**26
 - 3.5.3 **Field: Wind Pressure Coefficient Curve Name**27
 - 3.5.4 **Field: Symmetric Wind Pressure Coefficient Curve**27
 - 3.5.5 **Field: Wind Angle Type**27
- 3.6 AIRFLOWNETWORK:MULTIZONE:WIND PRESSURE COEFFICIENT ARRAY27
 - 3.6.1 **Field: Name**27
 - 3.6.2 **Field: Wind Direction #n**27
- 3.7 AIRFLOWNETWORK:MULTIZONE:WIND PRESURE COEFFICIENT VALUES27
 - 3.7.1 **Field: Name**28
 - 3.7.2 **Field: AirflowNetwork WindPressureCoefficient Array Name**28

3.7.3	Field: Wind Pressure Coefficient Value #n28
4	AIRFLOW NETWORK OUTPUTS29
4.1	<i>ZONE MEAN TEMPERATURE29</i>
4.2	<i>AFN NODE WIND PRESSURE [Pa]29</i>
4.3	<i>AFN SURFACE VENTING WINDOW OR DOOR OPENING FACTOR29</i>
4.4	<i>AFN SURFACE VENTING INSIDE SETPOINT TEMPERATURE [C]29</i>
4.5	<i>AFN SURFACE VENTING AVAILABILITY STATUTS29</i>
4.6	<i>AFN ZONE INFILTRATION AIR CHANGE RATE29</i>
4.7	<i>AFN SURFACE VENTING WINDOW OR DOOR OPENING MODULATION MULTIPLIER30</i>
5	EXEMPLO31
5.1	MODELO RESIDENCIAL31
5.1.1	AirflowNetwork:SimulationControl32
5.1.2	AirflowNetwork:Multizone:Zone32
5.1.3	AirflowNetwork:Multizone:Surface33
5.1.4	AirflowNetwork:Multizone:ComponentDetailedOpening33
5.1.5	Análise dos resultados33
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS37

1 INTRODUÇÃO

A ventilação natural quando corretamente utilizada pode representar importante fator de conforto e melhoria das condições ambientais no interior dos edifícios. Trata-se de uma estratégia aplicada desde o início da história da arquitetura, para amenizar as altas temperaturas internas, em regiões de clima quente, sendo até hoje amplamente empregada em edificações residenciais e comerciais.

O uso da ventilação natural nas edificações pode proporcionar conforto térmico aos seus usuários, por diminuir as altas temperaturas internas. Esta estratégia também reduz o consumo

de energia, por evitar ou minimizar a utilização dos sistemas de condicionamento de ar. Além disso, a ventilação natural mantém a qualidade interna do ar pela renovação, entre outras funções.

Entretanto, a grande maioria das edificações comerciais é resfriada através de sistemas de condicionamento de ar. Os sistemas de condicionamento de ar são responsáveis por manter o ambiente interno em condições constantes de temperatura, mas como consequência isto representa elevados gastos de consumo de energia elétrica, refletindo em um grande impacto para o meio ambiente. Além disso, os usuários têm menos controle sob estes sistemas, não conseguindo alterar para a sua preferência de conforto térmico. Em contraste, edificações naturalmente ventiladas permitem que os seus ocupantes tenham o controle da abertura ou fechamento das janelas para manter a temperatura do ambiente em condições agradáveis, refletindo em um menor consumo de energia elétrica quando comparadas às edificações condicionadas.

A otimização do sistema de ventilação natural em edificações de países de clima quente, como o Brasil, pode contribuir para a redução do consumo dos sistemas de condicionamento de ar, o que traz benefícios ao usuário e à sociedade em geral. Os benefícios podem vir da redução de custos com energia elétrica, da redução das penalidades pelo uso da energia e do aumento do conforto térmico.

Muitos programas computacionais nacionais e internacionais estão sendo desenvolvidos para o cálculo de cargas térmicas, avaliação das condições de conforto térmico e desempenho energético de edificações. Atualmente, existem diversas ferramentas computacionais para analisar o desempenho energético e o consumo de energia das edificações, sendo que a escolha vai depender da aplicação. Segundo o DOE (2018) o Diretório de Ferramentas de Simulações Computacionais do Departamento de Energia dos Estados Unidos apresenta mais de 408 programas de simulação desenvolvidos em diversos países, como por exemplo: BLAST, Comis, DOE2.1E, EnergyPlus, Sunrel, TRNSYS, Tas, TRACE, eQUEST, ECOTECH, Window, entre outros.

O uso de programas computacionais tem contribuído em muito na busca de soluções para a área energética. Seja na escolha de um sistema de condicionamento de ar eficiente, de lâmpadas e luminárias de alto rendimento; no projeto de proteções solares; na instalação de um sistema de cogeração ou até mesmo na análise das contas de energia elétrica de uma edificação.

O programa EnergyPlus, internacionalmente conhecido, possibilita simulações confiáveis de diversas tipologias arquitetônicas, sistemas construtivos e condicionamento de ar.

Trata-se de um *software* de simulação de carga térmica e análise energética, desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, a partir de dois outros *softwares*, o BLAST e o DOE-2.

O método da ventilação natural presente no programa EnergyPlus foi validado através de medições de dados obtidos pelo Laboratório Nacional de *Oak Ridge* (ORNL) e pelo Centro de Energia Solar da Flórida (FSEC). Foram adotadas diferentes edificações, as quais foram inseridas no programa EnergyPlus para validar parâmetros específicos relacionados com o modelo de ventilação natural inserido no programa. Assim, foi possível comparar os resultados das medições com os resultados obtidos através da simulação computacional. Observou-se que estes estavam de acordo com os dados das medições realizadas, podendo afirmar que o método da ventilação natural inserido no programa EnergyPlus está coerente.

O Instituto Internacional de Normalização e Tecnologia (NIST) desenvolveu o programa AIRNET (WALTON, 1989). Em 1990, pesquisadores do Laboratório Nacional de Lawrence Berkeley desenvolveram o programa COMIS. Ambos os programas analisam as trocas de ar do modelo de acordo com as temperaturas de cada nó.

Primeiramente, o programa EnergyPlus utilizava o COMIS para analisar a ventilação uma vez que este permitia mais interações com os modelos. Depois, foi inserido no EnergyPlus um sistema de distribuição de ar o qual utilizava equações derivadas do programa AIRNET. Este sistema analisava a ventilação através do sistema de distribuição de ar e calculava as perdas de energia.

Durante algum tempo, ambos os programas estavam inseridos no EnergyPlus, apesar de o COMIS e o AIRNET possuírem focos diferentes. Entretanto, hoje em dia o programa AIRNET substituiu o COMIS para que o EnergyPlus ficasse integrado com o sistema de ventilação e distribuição de ar (GU, 2007).

Através deste manual, pretende-se detalhar os parâmetros necessários para a modelagem da ventilação natural no programa computacional EnergyPlus, apresentando o porquê da utilização dos dados de entrada em cada item do programa.

2 O PROGRAMA COMPUTACIONAL ENERGYPLUS

Para a elaboração do manual referente a ventilação natural adotou-se o programa de simulação computacional EnergyPlus, utilizando a versão 9.0.1 (DOE, 2018). O programa EnergyPlus foi desenvolvido através da fusão dos programas DOE-2 e BLAST pelo *Lawrence Berkeley National Laboratory* (LBNL), em sociedade com outros laboratórios. Esta foi uma iniciativa do Departamento de Energia Norte-Americano para estimular o desenvolvimento de um código computacional que fosse capaz de calcular não só a carga térmica da edificação, mas também que pudesse prever o consumo de energia do sistema de climatização.

Além disso, o algoritmo COMIS (FEUSTEL & RAYNOR-HOUSEN, 1990) foi incorporado ao Energyplus, o que permite a simulação da ventilação natural, juntamente com a simulação térmica da edificação, a partir da sua geometria e das condições climáticas locais. A partir da versão 1.3.0 do programa, o modelo de cálculo do fluxo de ar passou a ser chamado de *AirflowNetwork*. Esse modelo, além de incluir partes da versão mais recente do COMIS, passou a adotar partes da rotina de cálculo do programa AIRNET (WALTON, 1989). O COMIS foi desenvolvido através de um esforço multinacional e multi-institucional sob a supervisão da Agência Internacional de Energia (IEA). O programa AIRNET foi desenvolvido por George Walton do NIST – *USA National Institute of Standards and Technology*.

Para realizar uma simulação no EnergyPlus é necessário, inicialmente, modelar a geometria e os componentes construtivos do modelo. A modelagem da geometria é realizada através de coordenadas cartesianas. E os componentes construtivos são tratados como *layers*, ou seja, é necessário criar cada camada constituinte. A maioria das informações necessárias para o cálculo do fluxo de ar é automaticamente extraída da descrição da edificação para a modelagem térmica. Alguns exemplos são o volume e a altura neutra das zonas, a orientação e localização das superfícies da edificação que contém frestas ou aberturas. O objeto *AirflowNetwork* calcula o fluxo de ar entre zonas e o exterior, através de frestas e janelas. No módulo relacionado à ventilação natural são determinados os *linkages* (conexões) do fluxo de ar, as características do entorno da edificação, as condições de abertura das janelas e portas e as condições de ventilação. O algoritmo permite que sejam criadas *schedules* de controle, de disponibilidade de ventilação, entre outras. O programa pode calcular automaticamente os coeficientes de pressão, mas para isso é necessário que o prédio possua uma geometria retangular.

3 AIRFLOW NETWORK

A ventilação no programa EnergyPlus pode ser dividida em dois tipos: natural e forçada. Na ventilação forçada, força-se a renovação de ar através de equipamentos e outros métodos. Já na ventilação natural, a qual será abordada neste manual, é baseada na movimentação do ar por forças naturais, particularmente através da movimentação do ar pelo interior da edificação. A ventilação natural depende da diferença de temperatura entre o ar dentro e fora da edificação; da diferença da altura entre a entrada de ar e as aberturas de exaustão; convecção do calor ascendente e da velocidade e direção do vento.

Para inserir a estratégia da ventilação natural no programa EnergyPlus são necessários inserir os seguintes objetos:

- *AirflowNetwork:SimulationControl*: define os parâmetros básicos para a simulação da ventilação;
- *AirflowNetwork:MultiZone:Zone*: controla a ventilação natural através das aberturas externas e internas da zona térmica;
- *AirflowNetwork:Multizone:Surface*: propriedades das superfícies para a ventilação natural;
- *AirflowNetwork:MultiZone:Component:DetailedOpening*: características da ventilação natural através das portas e janelas;
- *AirflowNetwork:MultiZone:ExternalNode*: define as condições externas da edificação;
- *AirflowNetwork:Multizone:WindPressureCoefficientArray*: direções discretizadas do vento;
- *AirflowNetwork:Multizone:WindPressureCoefficientValues*: coeficiente de pressão do vento com a direção, adotado para cada fachada.

A seguir, cada objeto de entrada e seus respectivos itens serão listados acima, apresentando o seu real significado para o funcionamento da ventilação natural em edificações.

3.1 AIRFLOWNETWORK:SIMULATION:CONTROL

Este objeto de entrada define os parâmetros básicos para o cálculo da ventilação e define se os coeficientes de pressão do vento são inseridos pelo usuário ou calculados pelo programa. As especificações de cada parâmetro de entrada relacionado com este objeto são:

3.1.1 *Field: Name*

Este parâmetro está relacionado com o nome que o usuário irá fornecer para o sistema de ventilação.

3.1.2 Field: *AirflowNetwork Control*

Este parâmetro está relacionado com o controle da ventilação. O programa fornece quatro tipos de controle:

- *NoMultizoneOrDistribution (default)*: Não ocorre o cálculo de ventilação das zonas e do sistema de distribuição do ar, mesmo quando há sistema de distribuição de ar;
- *MultizoneWithDistribution*: o cálculo de ventilação das zonas acontece durante toda a simulação, incluindo o impacto do sistema de distribuição de ar quando o ventilador do sistema de condicionamento de ar está operando;
- *MultizoneWithoutDistribution*: o cálculo de ventilação das zonas acontece durante toda a simulação, mas o sistema de distribuição do ar não é modelado mesmo que este seja inserido no programa;
- *MultizoneWithDistributionOnlyDuringFanOperation*: o cálculo de ventilação das zonas e do impacto do sistema de distribuição de ar somente ocorrem quando o ventilador do sistema de condicionamento de ar está funcionando.

3.1.3 Field: *Wind Pressure Coefficient Type*

Determina se os coeficientes de pressão do vento são inseridos pelo usuário ou calculados pelo programa. As opções são:

- *SurfaceAverageCalculation (default)*: os coeficientes de pressão do vento são calculados pelo programa. Ressalta-se que esta opção somente pode ser utilizada se a edificação em estudo for retangular;
- *Input*: selecionando esta opção, o usuário deve utilizar os seguintes objetos:
 - *AirflowNetwork:Multizone:WindPressureCoefficientArray*;
 - *AirflowNetwork:Multizone:ExternalNode*; e
 - *AirflowNetwork:Multizone:WindPressureCoefficientValues*.

Caso o usuário opte por realizar os cálculos da pressão do vento nas fachadas, uma opção é utilizar a base de dados do cálculo dos coeficientes de pressão realizado no Japão (*Wind Effects on Buildings and Urban Environment*). Nesta base de dados pode-se escolher a geometria da edificação e as proporções desta para analisar os resultados encontrados dos coeficientes de pressão (<http://www.wind.arch.t-kougei.ac.jp/system/eng/contents/code/tpu>).

Esta base de dados fornece coeficientes de pressão em diferentes coordenadas das fachadas da edificação e cobertura. Mas, para isso, é necessário analisar a velocidade do vento,

as características da influência deste nas edificações, estabelecer um método para analisar a sua influência, construir um modelo para monitorar a influência nas edificações e desenvolver um método para determinar as aberturas para a utilização da ventilação natural.

Caso o usuário opte em não calcular os coeficientes de pressão do vento e esteja modelando uma edificação de pequeno porte, selecionado as opções *SurfaceAverage* e *lowrise*, o programa EnergyPlus utiliza a equação de Swami e Chandra (1988) localizada na *ASHRAE 2001 – Fundamentals Handbook* (ASHRAE, 2001).

Caso o usuário esteja modelo uma edificação de grande porte, selecionando as opções *SurfaceAverage* e *highrise*, o programa calcula os coeficientes de pressão do vento de acordo com Atkins et al. (1979).

3.1.4 Field: Height Selection for Local Wind Pressure Calculation

Determina se a pressão do vento local é calculada com base na altura de qualquer nó externo inserido pelo usuário (*ExternalNode*) ou na altura das aberturas (*OpeningHeight*). O procedimento de cálculo da velocidade do vento local ao ar livre pode ser observado na seção “*Local Wind Speed Calculation*” do manual *Engineering Reference* do EnrgyPlus.

- *OpeningHeight (default)*: Se *WindPressureCoefficientType = SurfaceAverageCalculation*, este campo deve ser deixado em branco. Se *WindPressureCoefficientType = Input* (ver descrição do campo anterior), esse campo deve ser preenchido. É importante ressaltar que o número de objetos criados em *AirflowNetwork:MultiZone:ExternalNode* deve ser igual ao número de superfícies externas definidas no objeto *AirflowNetwork:MultiZone:Surface*.
- *ExternalNode*: As alturas inseridas nos objetos do *AirflowNetwork:Multizone:ExternalNode* são usadas para calcular as pressões do vento local com base na velocidade do vento dada nesta altura. Usado somente se *Wind Pressure Coefficient Type = Input*.

3.1.5 Field: Building Type

Esse campo só deve ser preenchido se o usuário utilizou o parâmetro *SurfaceAverageCalculation*. Este objeto permite que o usuário opte pelo tipo da edificação:

- *Lowrise (default)*: Corresponde a uma edificação retangular cuja altura deve ser menos que três vezes a largura da área do piso e menos que três vezes que o comprimento da

área do piso. Quando essa opção é selecionada as equações de Swami e Chandra (1988) são utilizadas;

- *Highrise*: Corresponde a uma edificação retangular cuja altura deve ser maior que três vezes a largura da área do piso ou maior que três vezes o comprimento da área do piso. Quando essa opção é selecionada as equações de Atkins et al. (1979) são utilizadas.

3.1.6 *Field: Maximum Number of Iterations*

Relaciona-se ao número máximo de interações permitidas para solucionar algum item relacionado com o uso da ventilação. Caso a solução para um eventual problema não seja encontrada em algum *timestep*, a simulação é abortada e um *Severe Error* é alertado ao usuário. O valor de default utilizado é 500.

3.1.7 *Field: Initialization Type*

Define qual o método utilizado para inicializar o cálculo da ventilação. As opções são: *LinearInitializationMethod* e *ZeroNodePressures (default)*.

3.1.8 *Field: Relative Airflow Convergence Tolerance*

Assume-se que houve convergência quando o módulo da soma dos valores de todos os sistemas de ventilação dividido pela soma dos módulos de todos os sistemas de ventilação for menor que o valor especificado neste objeto (). O valor de default é 1.0×10^{-4} .

3.1.9 *Field: Absolute Airflow Convergence Tolerance*

Assume-se que houve convergência quando a soma dos módulos de todos os sistemas de ventilação for menor que o valor especificado neste objeto. O valor de default é 1.0×10^{-6} ().

3.1.10 *Field: Convergence Acceleration Limit*

Caso a razão entre correções sucessivas das pressões resultarem em valores menores que o limite, deve-se utilizar o algoritmo de aceleração de Steffensen, encontrado no *Engineering Reference* do EnergyPlus. O valor pode variar entre -1 e +1, sendo o valor de default igual a -0.5.

3.1.11 *Field: Azimuth Angle of Long Axis of Building*

Orientação da edificação retangular para calcular o coeficiente de pressão do vento. Para representar a orientação calcula-se o menor ângulo, no sentido horário, entre o norte e o

comprimento da edificação. Este objeto deve ser utilizado somente se o usuário optou pelo *SurfaceAverageCalculation*. O valor varia de 0 a 180, sendo o valor de default igual a 0.

3.1.12 Field: Ratio of Building Width Along Short Axis to Width Along Long Axis

É a razão da área do piso retangular, calculada através da divisão largura pelo comprimento da edificação. Este objeto deve ser utilizado somente se o usuário optou pelo *SurfaceAverageCalculation*. O valor varia de 0 a 1, sendo o valor de default igual a 1, que corresponde a uma edificação quadrada.

3.2 AIRFLOWNETWORK:MULTIZONE:ZONE

Este objeto de entrada permite controlar a ventilação natural através das aberturas (janelas e portas) externas e internas presentes em cada zona térmica. Para o cálculo da ventilação natural, somente o primeiro parâmetro deste objeto deve ser inserido. As especificações de cada parâmetro de entrada relacionado com este objeto são:

3.2.1 Field: Zone Name

Neste objeto deve-se inserir o nome correspondente à zona térmica que será inserida a ventilação natural.

3.3 AIRFLOWNETWORK:MULTIZONE:SURFACE

Este objeto especifica as propriedades das superfícies que possuem a ventilação natural.

3.3.1 Field: Surface Name

Nome fornecido pelo usuário correspondente às superfícies que serão utilizadas para ventilar as zonas térmicas.

3.3.2 Field: Leakage Component Name

Nome fornecido pelo usuário, no objeto *AirflowNetwork:Multizone:ComponentDetailedOpening*, para especificar a abertura e fechamento das portas e janelas.

3.3.3 Field: External Node Name

Nome fornecido pelo usuário, no objeto *AirflowNetwork:Multizone:ExternalNode*, para nomear o coeficiente de pressão do vento na superfície. Se a opção *SurfaceAverageCalculation* foi escolhida, este campo é inutilizado.

3.3.4 Field: Window/Door Opening Factor, or Crack Factor

Especifica se a porta ou janelas são operáveis, apresentando o valor da abertura. O programa EnergyPlus utiliza uma combinação de fatores para determinar a área de abertura das portas e janelas.

3.3.5 Field: Ventilation Control Mode

Especifica qual será o tipo de controle da ventilação natural de cada abertura das zonas térmicas. Os tipos de controle que o objeto permite adotar são:

- *ZoneLevel (default)*: a ventilação através das portas e janelas não é controlada individualmente, e sim através da zona térmica. A ventilação será determinada através do objeto *AirflowNetwork:Multizone:Zone*.
- *Temperature*: as portas e janelas serão abertas se:
 - a temperatura da zona for maior que a temperatura externa; e
 - a temperatura da zona for maior que a temperatura da schedule de temperatura da zona; e
 - a schedule de *Venting Availability Schedule* permitir a ventilação na edificação.

Obs.: todas as condições devem ser atendidas para o atendimento do comando dados às portas e janelas.

- *NoVent*: as portas e janelas estão fechadas durante todo o tempo, independente das condições internas e externas. A schedule *Venting Availability Schedule* é ignorada neste caso.
- *Enthalpy*: as portas e janelas serão abertas se:
 - a entalpia da zona for maior que a entalpia externa;
 - a temperatura da zona for maior que a temperatura da schedule de temperatura da zona; e
 - a schedule de *Venting Availability Schedule* permitir a ventilação na edificação.

- *Constant*: as portas e janelas serão abertas de acordo com a *schedule de Venting Availability Schedule*, independente das condições internas e externas.
- *Adjacent Temperature*: esta opção é somente utilizada para as superfícies internas. As portas e janelas serão abertas se:
 - a temperatura da zona for maior que a temperatura da zona adjacente;
 - a temperatura da zona for maior que a temperatura da *schedule de temperatura da zona*; e
 - a *schedule de Venting Availability Schedule* permitir a ventilação na edificação.
- *Adjacent Enthalpy*: esta opção é somente utilizada para as superfícies internas. As portas e janelas serão abertas se:
 - a entalpia da zona for maior que a entalpia da zona adjacente;
 - a temperatura da zona for maior que a temperatura da *schedule de temperatura da zona*; e
 - a *schedule de Venting Availability Schedule* permitir a ventilação na edificação.
- *ASHRAE55Adaptive*: a janela ou porta relacionada à esta superfície é aberta quando a temperatura operativa é maior do que a temperatura de conforto (linha central) calculada pelo modelo de conforto adaptativo da *ASHRAE Standard 55 (2010)* e quando a *schedule de Venting Availability* permite a ventilação.
- *CEN15251Adaptive*: a janela ou porta relacionada à esta superfície é aberta quando a temperatura operativa é maior do que a temperatura de conforto (linha central) calculada pelo modelo de conforto adaptativo CEN15251 e quando a *schedule de Venting Availability* permite a ventilação.

3.3.6 *Field: Ventilation Control Zone Temperature Setpoint Schedule Name*

Nome da *schedule de temperatura de setpoint* da zona que controla a abertura das portas e janelas para permitir a ventilação natural. Esta temperatura de *setpoint* está relacionada com a abertura das portas e janelas, referente às condições estabelecidas no objeto *Ventilation Control Mode*.

3.3.7 *Field: Minimum Venting Open Factor*

Este parâmetro deve ser utilizado somente se a opção *Temperature* ou *Enthalpy* for adotada em *Ventilation Control Mode*. O valor a ser inserido pode variar de 0 a +1, sendo o valor

de *default* igual a 0. A Figura 1 deve ser utilizada para *Temperature* e a Figura 2 deve ser utilizada para *Enthalpy*.

Figura 1: *Ventilation Control Mode* adotado para *Temperature*.

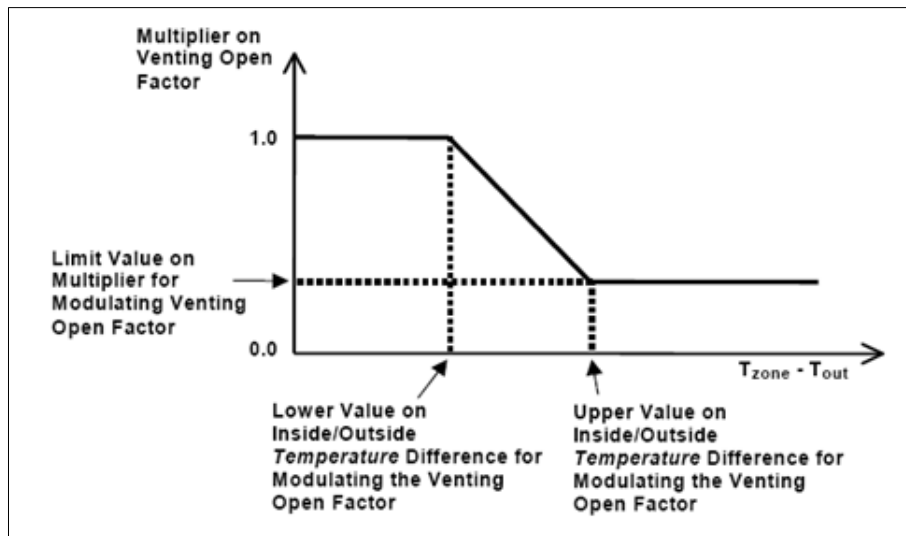
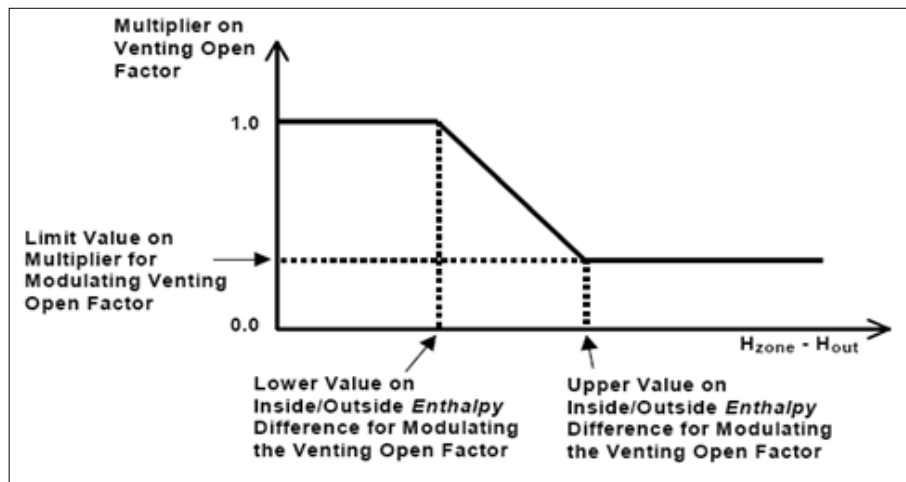


Figura 2: *Ventilation Control Mode* adotado para *Enthalpy*.



3.3.8 *Field: Venting Availability Schedule Name*

Este objeto está relacionado com a *schedule* criada pelo usuário para especificar quando ocorre a ventilação natural durante o ano. Uma *schedule* com valor negativo ou igual a zero significa que não é permitida a ventilação natural. Um valor maior que zero significa que a ventilação pode ocorrer caso as outras condições de controle permitam. Ressalta-se que se deve ter cuidado para não confundir esta *schedule* com a *Vent Temperature Schedule Name*.

3.4 AIRFLOWNETWORK:MULTIZONE:COMPONENT:DETAILEDOPENING

Este objeto especifica as propriedades da ventilação natural através das portas e janelas quando estas estão fechadas ou abertas. As especificações de cada parâmetro de entrada relacionado com este objeto são:

3.4.1 *Field: Name*

Nome fornecido pelo usuário para especificar a superfície de abertura. Este nome está relacionado com o objeto *AirflowNetwork:Multizone:Surface*.

3.4.2 *Field: Air Mass Flow Coefficient When Opening is Closed*

Este parâmetro está relacionado com as frestas através das portas e janelas quando estes elementos estiverem fechados. Não existe um valor de *default* para este objeto, entretanto o valor inserido deve ser maior que zero. O programa EnergyPlus irá automaticamente criar quatro frestas em volta do perímetro da porta ou da janela.

Através do livro "*Air Infiltration Calculation Techniques – An Applications Guide*" (LIDDAMENT, 1986) encontrou-se dados de infiltração prontos para projetistas selecionarem valores apropriados aos seus modelos de infiltração de ar. Os dados estão disponíveis em uma tabela com as características de infiltração de cada componente (*flow coefficient e exponent*). A Tabela 1 representa a descrição de portas e a Tabela 2 à descrição de janelas comuns.

Ressalta-se que a unidade do *flow coefficient* no livro é em (dm³/s.m). No programa EnergyPlus, deve-se inserir os valores na seguinte unidade: (kg/s.m). Os valores convertidos segunda a unidade no programa EnergyPlus para portas e janelas podem ser observados na Tabela 3 e Tabela 4, respectivamente.

Tabela 1: Coeficientes e expoentes de fluxo de ar para portas – (LIDDAMENT, 1986).

				Flow Exponent (n)			Flow Coefficient (C)		
				Max.	Med.	Min.	Max.	Med.	Min.
Porta de madeira	1 folha Pivotante	om vedaç	Interna	0.700	0.600	0.500	2.570	1.450	0.810
			Externa		0.640		1.240	0.960	0.70
			Corta-fogo						
		em vedaç	Interna	0.790	0.590	0.510	3.380	1.580	0.490
			Externa	0.710	0.590	0.500	3.520	1.320	0.790
			Corta-fogo		0.580			1.710	
	2 folhas	om vedaç	Interna						
			Externa						
			Corta-fogo						
		em vedaç	Interna		0.660			4.170	
			Externa		0.600			1.950	
			Corta-fogo						
1 folha de correr	om vedaç	Interna							
		Externa							
		Corta-fogo							
	em vedaç	Interna							
		Externa		0.660			0.200		
		Corta-fogo							
Porta de metal	1 folha Pivotante	om vedaç	Interna						
			Externa						
			Corta-fogo						
		em vedaç	Interna		0.660			0.038	
			Externa		0.660			0.038	
			Corta-fogo						
Porta de enrolar	m ² de porta	Interna							
		Externa		0.660			14.0		
		Corta-fogo							

Tabela 2: Coeficientes e expoentes de fluxo de ar para janelas – (LIDDAMENT, 1986).

			<i>Flow Exponent (n)</i>			<i>Flow Coefficient (C)</i>		
			Max.	Med.	Min.	Max.	Med.	Min.
Pivotante – eixo vertical lateral	Co m vedação	Madeira		0.66		0.10	0.03	0.01
		Madeira + Metal		0.66			0.17	
		Metal		0.66		0.29	0.27	0.14
		Plástico						
	Se m vedação	Madeira	0.85	0.66	0.50	1.19	0.23	0.04
		Madeira + Metal						
		Metal						
		Plástico						
Pivotante - eixo horizontal superior	Co m vedação	Madeira	0.69	0.57	0.50	1.22	0.42	0.11
		Madeira + Metal						
		Metal	0.64	0.60	0.52	0.55	0.32	0.18
		Plástico						
	Se m vedação	Madeira	0.61	0.56	0.60	1.38	1.08	0.88
		Madeira + Metal						
		Metal						
		Plástico						
Pivotante – eixo vertical central	Co m vedação	Madeira		0.78			0.03	
		Madeira + Metal						
		Metal	0.7	0.66	0.63	0.12	0.07	0.02
		Plástico						
	Se m vedação	Madeira						
		Madeira + Metal						
		Metal						
		Plástico						

Tabela 2: Coeficientes e expoentes de fluxo de ar para janelas – (LIDDAMENT, 1986).

			<i>Flow Exponent (n)</i>			<i>Flow Coefficient (C)</i>		
			Max.	Med.	Min.	Max.	Med.	Min.
1 folha - Deslizamento vertical	Com vedação	Madeira						
		Madeira + Metal						
		Metal		0.66			0.09	
		Plástico						
	Sem vedação	Madeira		0.66			0.16	
		Madeira + Metal						
		Metal						
		Plástico						
2 folhas - Deslizamento vertical	Com vedação	Madeira		0.66				
		Madeira + Metal		0.66				
		Metal	0.79	0.66	0.56	0.28	0.18	0.04
		Plástico						
	Sem vedação	Madeira		0.66			0.17	
		Madeira + Metal						
		Metal	0.69	0.58	0.45	1.20	0.45	0.20
		Plástico						
Claraboi a	Sem vedação	Metal	0.59	0.55	0.50	3.07	0.18	0.16

Tabela 3: Coeficientes e expoentes de fluxo de ar para portas – EnergyPlus.

				Flow Coefficient (C)		
				(kg/s.m)		
				Max.	Med.	Min.
Porta de madeira	1 folha Pivotante	om vedaçã	Interna	0.00332	0.00187	0.00105
			Externa	0.00160	0.00124	0.00090
			Corta-fogo			
		em vedaçã	Interna	0.00437	0.0024	0.00063
			Externa	0.00455	0.00171	0.00102
			Corta-fogo		0.00221	
	2 folhas Pivotantes	om vedaçã	Interna			
			Externa			
			Corta-fogo			
		em vedaçã	Interna		0.00539	
			Externa		0.00252	
			Corta-fogo			
	1 folha de correr	om vedaçã	Interna			
			Externa			
			Corta-fogo			
em vedaçã		Interna				
		Externa		0.00026		
		Corta-fogo				
Porta de Metal	1 folha Pivotante	om vedaçã	Interna			
			Externa			
			Corta-fogo			
		em vedaçã	Interna		0.00005	
			Externa		0.00005	
			Corta-fogo			

Tabela 4: Coeficientes e expoentes de fluxo de ar para janelas – EnergyPlus.

			<i>Flow Coefficient (C)</i>		
			Max.	Med.	Min.
Pivotante – eixo vertical lateral	Co m vedação	Madeira	0.00013	0.00004	0.0001
		Madeira + Metal			
		Metal	0.00037	0.00035	0.00018
		Plástico			
	Se m vedação	Madeira	0.0154	0.00030	0.00005
		Madeira + Metal			
		Metal			
		Plástico			
Pivotante - eixo horizontal superior	Co m vedação	Madeira	0.00158	0.00054	0.00014
		Madeira + Metal			
		Metal	0.00071	0.00041	0.00023
		Plástico			
	Se m vedação	Madeira	0.00178	0.00140	0.00114
		Madeira + Metal			
		Metal			
		Plástico			
Pivotante – eixo vertical central	Co m vedação	Madeira		0.00004	
		Madeira + Metal			
		Metal	0.00016	0.00009	0.00003
		Plástico			
	Se m vedação	Madeira			
		Madeira + Metal			
		Metal			
		Plástico			

Tabela 4: Coeficientes e expoentes de fluxo de ar para janelas – EnergyPlus.

			Flow Coefficient (C)		
			Max.	Med.	Min.
1 folha - Deslizamento vertical	Com vedação	Madeira			
		Madeira + Metal			
		Metal		0.00012	
		Plástico			
	Sem vedação	Madeira		0.00021	
		Madeira + Metal			
		Metal			
		Plástico			
2 folhas - Deslizamento vertical	Com vedação	Madeira			
		Madeira + Metal			
		Metal	0.00036	0.00023	0.00005
		Plástico			
	Sem vedação	Madeira		0.00022	
		Madeira + Metal			
		Metal	0.00155	0.00058	0.00026
		Plástico			
Clarabóia	Sem vedação	Metal	0.00397	0.0023	0.00021

3.4.3 Field: Air Mass Flow Exponent When Opening is Closed

Este parâmetro está relacionado com as frestas através das portas e janelas quando estes elementos estiverem fechados. O valor a ser inserido é o valor utilizado como expoente na equação de ventilação pelas frestas. O valor do expoente pode variar de 0.5 a 1.0, sendo o valor de default igual a 0.65.

No livro “*Air Infiltration Calculation Techniques – An Applications Guide*” (LIDDAMENT, 1986), encontrou-se uma tabela a qual determina o valor do expoente do fluxo de ar através das frestas de acordo com a sua característica. Pode-se observar através da Tabela 5 que este valor pode variar de 0.50 a 1.00, sendo o valor de 0.50 adotado para o fluxo de ar turbulento e 1.00 para o fluxo de ar laminar.

Tabela 5: Fluxo de ar através das frestas.

Tipo de abertura	n
Aberturas grandes	0.50
Frestas - cracks (portas e janelas)	0.66
Materiais porosos com juntas	0.75
Materiais porosos	1.00

3.4.4 Field: Type of Rectangular Large Vertical Opening (LVO)

Este parâmetro especifica o tipo de portas e janelas retangulares. As opções são:

- *NonPivoted*: representa uma porta ou janela normal;
- *HorizontallyPivoted*: representa uma janela pivotante, com eixo no sentido horizontal. Portanto, não pode ser utilizada para modelar uma porta.

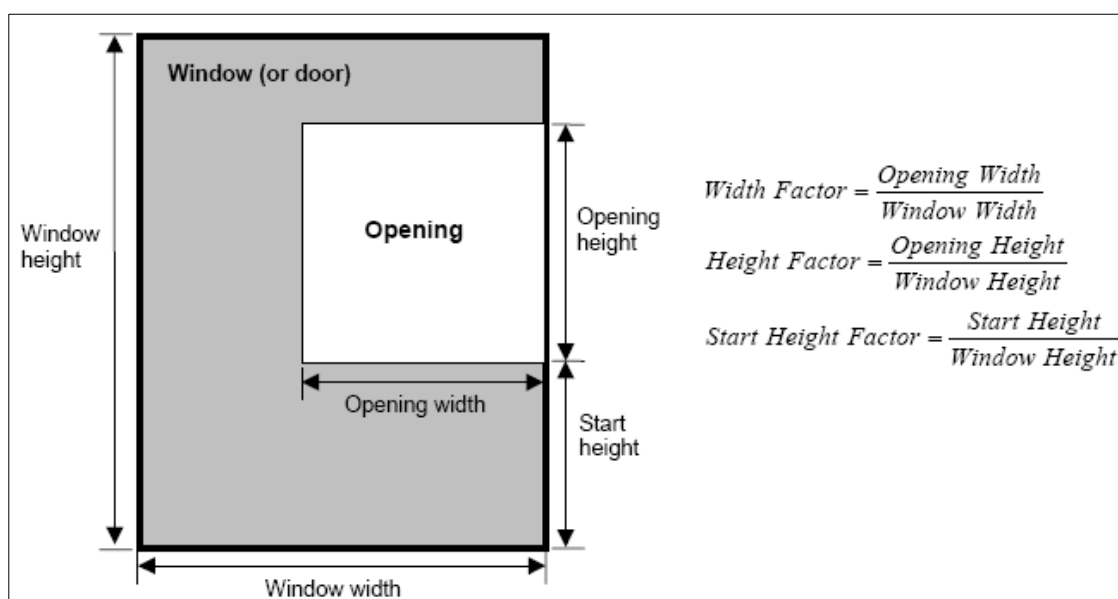
3.4.5 Field: Extra Crack Length or Height of Pivoting Axis

Especifica as características das janelas e portas dependendo do tipo da abertura vertical (LVO, descrito no item 3.4.4). Para o tipo *NonPivoted* este valor deve ser o comprimento das frestas, em metros, levando-se em consideração todas as partes que podem ser abertas. Já para o tipo *HorizontallyPivoted* o valor inserido deve ser a altura do eixo pivotante da janela, medida a partir da parte inferior do vidro da janela.

3.4.6 Field: Number of Sets of Opening Factor Data

Este parâmetro define a quantidade de frações de aberturas que as portas e janelas possuem (Figura 3). O valor do primeiro fator de abertura deve ser 0, referente à mínima fração de abertura considerada para a janela ou porta e o último valor para o fator de abertura deve ser 1, referente à máxima abertura a ser considerada. No caso de haver três níveis de abertura para uma janela, o primeiro fator de abertura deve ser 0 (mínima fração de abertura), o segundo 0.5 (para uma fração de abertura intermediária) e o último 1 (máxima fração de abertura).

Figura 3: Frações de aberturas de portas e janelas.



3.4.7 Field: Opening Factor #n

Representa o fator de abertura da porta ou da janela. O valor inicial deve ser 0, sendo que os próximos valores podem variar até o valor 1. Este fator de abertura pode variar n vezes, para representar o quanto a janela/porta está aberta. Para o *NonPivoted* o fator de abertura corresponde a fração de abertura das portas e janelas. Para o *HorizontallyPivoted* o fator de abertura é determinado pelo ângulo de abertura das portas e janelas.

3.4.8 Field: Discharge Coefficient for Opening Factor #n

Corresponde a fração eficaz da ventilação natural das portas e janelas com relação ao fator de abertura #1. O valor a ser inserido deve ser maior do que 0.0 e menor ou igual a 1.0, sendo o valor de *default* igual a 0.001. O valor deste fator de largura das aberturas corresponde ao *Opening Factor #1*.

3.4.9 Field: Width Factor for Opening Factor #n

O fator de largura das aberturas é a razão da largura da abertura pela largura da janela ou da porta. O valor pode variar de 0.0 (0% aberta) a 1.0 (100% aberta), sendo o valor de *default* igual a 0.0. O valor deste fator de largura das aberturas corresponde ao *Opening Factor #1*.

3.4.10 Field: Height Factor for Opening Factor #n

O fator de altura das aberturas é a razão da altura da abertura pela altura da janela ou da porta. O valor pode variar de 0.0 (0% aberta) a 1.0 (100% aberta), sendo o valor de *default* igual a 0.0. O valor deste fator de altura das aberturas corresponde ao *Opening Factor #1*.

3.4.11 Field: Start Height Factor for Opening Factor #n

Este fator corresponde à fração entre a distância da base da esquadria e a altura de início da abertura da esquadria, e a distância vertical total da esquadria. O valor pode variar de 0.0 (0% aberta) a 1.0 (100% aberta), sendo o valor de *default* igual a 0.0. O valor deste fator de altura das aberturas corresponde ao *Opening Factor #1*.

3.5 AIRFLOWNETWORK:MULTIZONE:EXTERNAL NODE

Define as condições externas à edificação, incluindo coeficiente de pressão do vento, o qual varia de fachada a fachada, e pode ser extremamente dependente da geometria da edificação. Este objeto não é utilizado se o usuário optou pelo *SurfaceAverageCalculation*. As especificações de cada parâmetro de entrada relacionado com este objeto são:

3.5.1 Field: Name

Nome fornecido pelo usuário para um nó externo da edificação associado a uma abertura da mesma fachada. Podem ser determinados diversos pontos na fachada, desde que se tenha o conhecimento dos valores de coeficientes de pressão destes nós.

3.5.2 Field: External Node Height

Referente à altura utilizada para o cálculo da pressão do vento.

3.5.3 *Field: Wind Pressure Coefficient Curve Name*

Relacionado com o nome determinado para o objeto `AirflowNetwork:MultiZone:WindPressureCoefficientValues`.

3.5.4 *Field: Symmetric Wind Pressure Coefficient Curve*

Define as condições externas à edificação, incluindo coeficiente de pressão do vento, o qual varia de fachada a fachada, e pode ser extremamente dependente da geometria da edificação.

3.5.5 *Field: Wind Angle Type*

Define nós externos à edificação, que estabelecem coeficientes de pressão do vento, os quais variam de fachada a fachada e podem ser extremamente dependentes da geometria da edificação.

3.6 AIRFLOWNETWORK:MULTIZONE:WIND PRESSURE COEFFICIENT ARRAY

Este parâmetro refere-se à direção do vento. Ressalta-se que este objeto é somente utilizado se o usuário optou em utilizar o Input como opção de cálculo do coeficiente de pressão do vento. As especificações de cada parâmetro de entrada relacionado com este objeto são:

3.6.1 *Field: Name*

Nome fornecido pelo usuário. Será referenciado no objeto `AirflowNetwork:MultiZone:WindPressureCoefficientValues`.

3.6.2 *Field: Wind Direction #n*

Correspondem às orientações que serão utilizadas para a realização do cálculo do coeficiente de pressão do vento.

3.7 AIRFLOWNETWORK:MULTIZONE:WIND PRESURE COEFFICIENT VALUES

Estes parâmetros são definidos de acordo com cada direção inserida no objeto `AirflowNetwork:Multizone:WindPressureCoefficientArray`. Ressalta-se que este objeto é somente

utilizado se o usuário optou em utilizar o Input como opção de cálculo do coeficiente de pressão do vento. As especificações de cada parâmetro de entrada relacionado com este objeto são:

3.7.1 Field: Name

O nome do objeto *WindPressureCoefficientValues*. Este nome pode estar relacionado à múltiplos objetos do *AirflowNetwork:MultiZone:ExternalNode*.

3.7.2 Field: AirflowNetwork WindPressureCoefficient Array Name

Nome fornecido pelo usuário no objeto *AirflowNetwork:Multizone:WindPressureCoefficientArray*, o qual relaciona as direções do vento correspondente aos valores do cálculo dos coeficientes de pressão do vento.

3.7.3 Field: Wind Pressure Coefficient Value #n

Valor do coeficiente de pressão do vento de acordo com a fachada da edificação adotada. O valor pode ser positivo, negativo ou zero.

4 AIRFLOW NETWORK OUTPUTS

O sistema de ventilação natural do programa EnergyPlus possui diversas variáveis de saída, permitindo que o usuário analise cada variável inserida no programa. A grande maioria das variáveis de saída está relacionada com a utilização do sistema de ventilação juntamente com um sistema de condicionamento de ar (sistema de climatização híbrido). Abaixo estão algumas das variáveis de saída mais utilizadas, relacionadas com a utilização da ventilação natural.

4.1 *ZONE MEAN TEMPERATURE*

Esta variável determina a temperatura interna da zona. É utilizada para o sistema de ventilação natural, permitindo analisar o funcionamento da ventilação natural de acordo com os tipos de controle.

4.2 *AFN NODE WIND PRESSURE [Pa]*

Esta variável fornece a pressão do vento para todos os nós externos que foram adotados.

4.3 *AFN SURFACE VENTING WINDOW OR DOOR OPENING FACTOR*

Esta variável fornece o fator de abertura relacionado com uma janela/porta presente na edificação.

4.4 *AFN SURFACE VENTING INSIDE SETPOINT TEMPERATURE [C]*

Esta variável fornece o valor por *timestep* da temperatura de ventilação da zona.

4.5 *AFN SURFACE VENTING AVAILABILITY STATUTS*

Esta variável fornece os valores da schedule de abertura das janelas/portas presentes na edificação, adotadas pelo simulador.

4.6 *AFN ZONE INFILTRATION AIR CHANGE RATE*

Esta variável fornece o número de trocas por hora realizada pela ventilação do ar externo para dentro da zona através das aberturas das janelas/portas.

4.7 AFN SURFACE VENTING WINDOW OR DOOR OPENING MODULATION MULTIPLIER

Através desta variável é possível analisar o funcionamento das schedules inseridas no arquivo .idf. Os valores de saída variam de 0.0 a -1.0. A Figura 4 determina os valores para diferentes condições de ventilação.

Figura 4: Valores de funcionamento das *schedules* de ventilação.

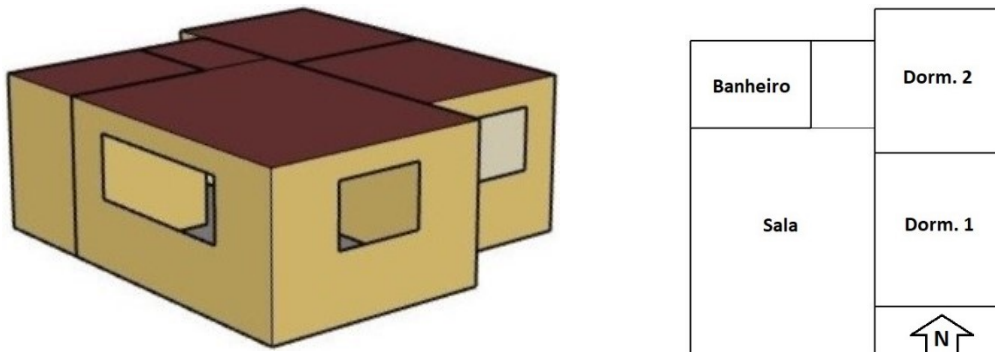
Is surface in a Zone?	Ventilation Control Mode	Is surface venting?	Value of opening factor multiplier
Yes	TEMPERATURE	Yes	0.0 to 1.0
		No	-1.0
	ENTHALPIC	Yes	0.0 to 1.0
		No	-1.0
	CONSTANT	Yes	1.0
	NOVENT	No	-1.0

5 EXEMPLO

5.1 MODELO RESIDENCIAL

Como exemplo, foi utilizada uma edificação residencial unifamiliar (Figura 5) de um pavimento tipo, com as seguintes características:

Figura 5: Edificação adotada.



- Área da sala: 21,4286 m²;
- Área do banheiro: 4,6652 m²;
- Área do dormitório norte: 8,3022 m²;
- Área do dormitório sul: 8,8502 m²;
- Pé direito: 2,50 m;
- Quatro zonas térmicas: sala, banheiro, dormitório norte, dormitório sul;
- Clima: arquivo climático de Florianópolis (TMY 2003 ~ 2017);
- Piso: cerâmico;
- Parede externa e interna: tijolo maciço;
- Cobertura: telha de fibrocimento e forro de madeira (ático modelado como uma camada da cobertura composta por ar, com resistência térmica de 0,21 m².K/W);
- Vidro: simples 3 mm (fator solar de 0,87);
- Orientação: dormitórios com orientação nordeste e sudeste e sala com orientação sudoeste;
- Sombreamento: beiral de 50 cm;
- Ocupação: 4 pessoas, 2 em cada dormitório;
- Atividade metabólica: no dormitório 81 met; na sala 108 met);
- Schedules de ocupação dormitórios: 22h00 às 8h00;
- Schedules de ocupação sala:
- Das 14h00 às 18h00: 2 pessoas;

- Das 18h00 às 22h00: 4 pessoas;
- Iluminação: 5 Watts/m² nas salas e nos dormitórios;
- Equipamentos: 120 Watts na sala;
- Schedules de ventilação dos dormitórios: 22h00 às 08h00;
- Schedules de ventilação da sala: 14h00 às 22h00;
- Temperatura de setpoint da ventilação: 19°C;
- Ventilation Control Mode: Temperature (explicação página 16).

Abaixo estão relacionados os objetos de entrada necessários para a simulação da ventilação natural desta edificação.

5.1.1 AirflowNetwork:SimulationControl

Figura 6: Preenchimento AirflowNetwork:SimulationControl.

Field	Units	Obj1
Name		ExercicioManualVent
AirflowNetwork Control		MultizoneWithoutDistribution
Wind Pressure Coefficient Type		SurfaceAverageCalculation
Height Selection for Local Wind Pressure Calculation		OpeningHeight
Building Type		LowRise
Maximum Number of Iterations	dimensionless	500
Initialization Type		LinearInitializationMethod
Relative Airflow Convergence Tolerance	dimensionless	0.0001
Absolute Airflow Convergence Tolerance	kg/s	0.000001
Convergence Acceleration Limit	dimensionless	-0.5
Azimuth Angle of Long Axis of Building	deg	0
Ratio of Building Width Along Short Axis to Width Along		0.85
Height Dependence of External Node Temperature		
Solver		

5.1.2 AirflowNetwork:Multizone:Zone

Figura 7: Preenchimento AirflowNetwork:Multizone:Zone.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Zone Name		Sala	Dorm1	Banh1	Dorm2
Ventilation Control Mode					
Ventilation Control Zone Temperature Setpoint Schedul					
Minimum Venting Open Factor	dimensionless				
Indoor and Outdoor Temperature Difference Lower Limi	deltaC				
Indoor and Outdoor Temperature Difference Upper Limi	deltaC				
Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Lower Limit For	deltaJ/kg				
Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Upper Limit for	deltaJ/kg				
Venting Availability Schedule Name					
Single Sided Wind Pressure Coefficient Algorithm					
Facade Width	m				
Occupant Ventilation Control Name					

5.1.3 AirflowNetwork:Multizone:Surface

Figura 8: Preenchimento *AirflowNetwork:Multizone:Surface*.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5
Surface Name		JANSALA_DESTE	PORTAEXT_LESTE	JANSALA_SUL	JANQUARTO1_SUL	JANQUARTO2_LESTE
Leakage Component Name		Det_Janela	Det_Porta	Det_Janela	Det_Janela	Det_Janela
External Node Name						
Window/Door Opening Factor, or Crack Factor	dimensionless	1	1	1	1	1
Ventilation Control Mode		Temperature	NoVent	Temperature	Temperature	Temperature
Ventilation Control Zone Temperature Setpoint Schedule		TempVentilacao		TempVentilacao	TempVentilacao	TempVentilacao
Minimum Venting Open Factor	dimensionless	0	0	0	0	0
Indoor and Outdoor Temperature Difference Lower Limit	deltaC					
Indoor and Outdoor Temperature Difference Upper Limit	deltaC					
Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Lower Limit For	deltaJ/kg					
Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Upper Limit for	deltaJ/kg					
Venting Availability Schedule Name		VN_Sala		VN_Sala	VN_Dorm1	VN_Dorm2
Occupant Ventilation Control Name						
Equivalent Rectangle Method						
Equivalent Rectangle Aspect Ratio	dimensionless					

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5
Surface Name		JANBWC	PORTAEXT_NORTE	PORTAINT_BWCSALA	PORTAINT_DORM1SALA	PORTAINT_DORM2SALA
Leakage Component Name		Det_Janela	Det_Porta	Det_Porta	Det_Porta	Det_Porta
External Node Name						
Window/Door Opening Factor, or Crack Factor	dimensionless	1	1	1	1	1
Ventilation Control Mode		Constant	NoVent	NoVent	NoVent	NoVent
Ventilation Control Zone Temperature Setpoint Schedule						
Minimum Venting Open Factor	dimensionless	0	0	0	0	0
Indoor and Outdoor Temperature Difference Lower Limit	deltaC					
Indoor and Outdoor Temperature Difference Upper Limit	deltaC					
Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Lower Limit For	deltaJ/kg					
Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Upper Limit for	deltaJ/kg					
Venting Availability Schedule Name						
Occupant Ventilation Control Name						
Equivalent Rectangle Method						
Equivalent Rectangle Aspect Ratio	dimensionless					

5.1.4 AirflowNetwork:Multizone:ComponentDetailedOpening

Figura 9: Preenchimento *AirflowNetwork:Multizone:ComponentDetailedOpening*.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		Det_Porta	janela_bwc	Det_Janela
Air Mass Flow Coefficient When Opening is Closed	kg/s-m	0.0024	0.00041	0.00028
Air Mass Flow Exponent When Opening is Closed	dimensionless	0.59	0.6	0.63
Type of Rectangular Large Vertical Opening (LVO)		NonPivoted	HorizontallyPivoted	NonPivoted
Extra Crack Length or Height of Pivoting Axis	m	0	0.3	0
Number of Sets of Opening Factor Data		2	2	2
Opening Factor 1	dimensionless	0	0	0
Discharge Coefficient for Opening Factor 1	dimensionless	0.001	0.001	0.001
Width Factor for Opening Factor 1	dimensionless	0	0	0
Height Factor for Opening Factor 1	dimensionless	1	1	1
Start Height Factor for Opening Factor 1	dimensionless	0	0	0
Opening Factor 2	dimensionless	1	1	1
Discharge Coefficient for Opening Factor 2	dimensionless	0.65	0.65	0.65
Width Factor for Opening Factor 2	dimensionless	1	0.9	0.45
Height Factor for Opening Factor 2	dimensionless	1	1	1
Start Height Factor for Opening Factor 2	dimensionless	0	0	0

5.1.5 Análise dos resultados

A seguir são apresentados alguns resultados da ventilação natural através dos relatórios de saída fornecidos pelo programa EnergyPlus. Todas as análises foram realizadas para o dia 25/01.

5.1.5.1 Comparação da temperatura interna e externa do caso base com e sem a utilização da ventilação natural

Para analisar a influência da ventilação natural no modelo, observou-se a temperatura interna da edificação com e sem a utilização da ventilação natural. Através das Figura 10, Figura 11 e Figura 12, pode-se observar que o valor da temperatura interna do caso estudado sem a utilização da ventilação natural acompanha a temperatura externa durante o período sem ocupação. Entretanto, durante o período com ocupação a temperatura tende a aumentar, pois não se permite a ventilação e as cargas internas superaquecem a zona térmica. O contrário é observado quando há ventilação no período de ocupação, a temperatura dos ambientes apresenta uma queda, pois é no período de ocupação que há ventilação, logo, as trocas de ar aliviam as cargas internas.

Figura 10: Temperatura interna do Dormitório 1 com o uso da ventilação natural.

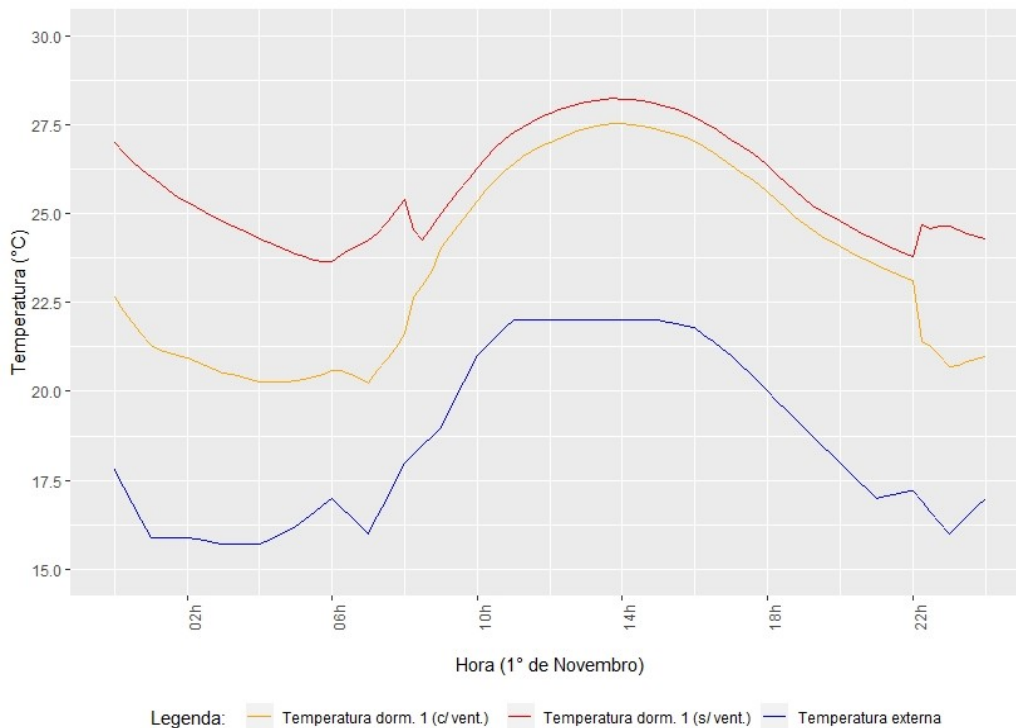


Figura 11: Temperatura interna do Dormitório 2 com o uso da ventilação natural.

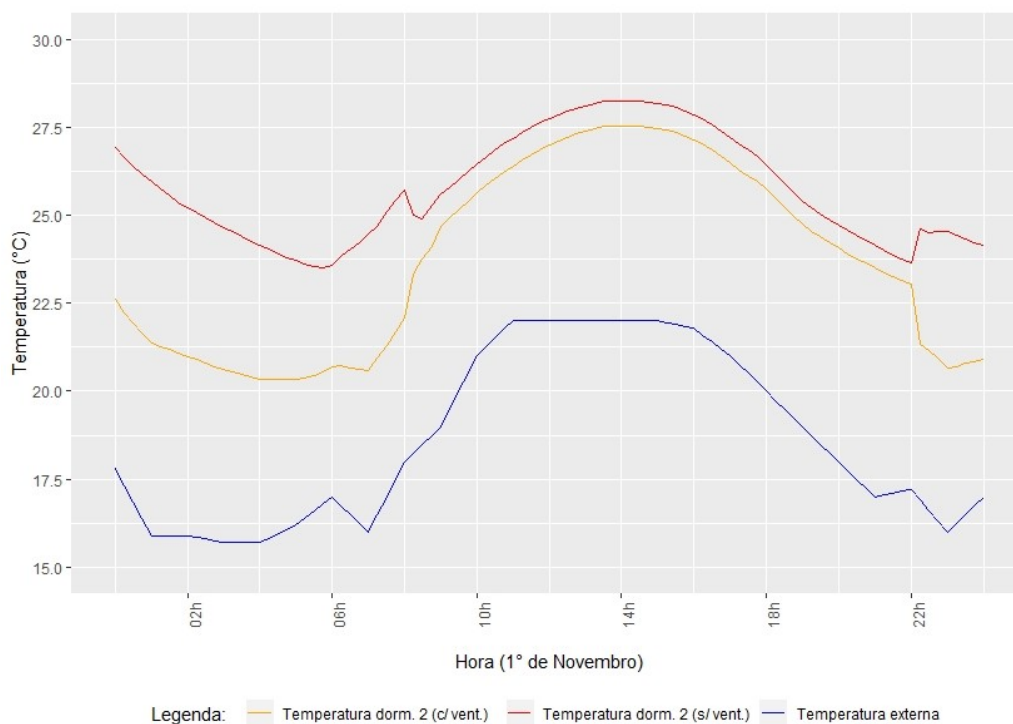
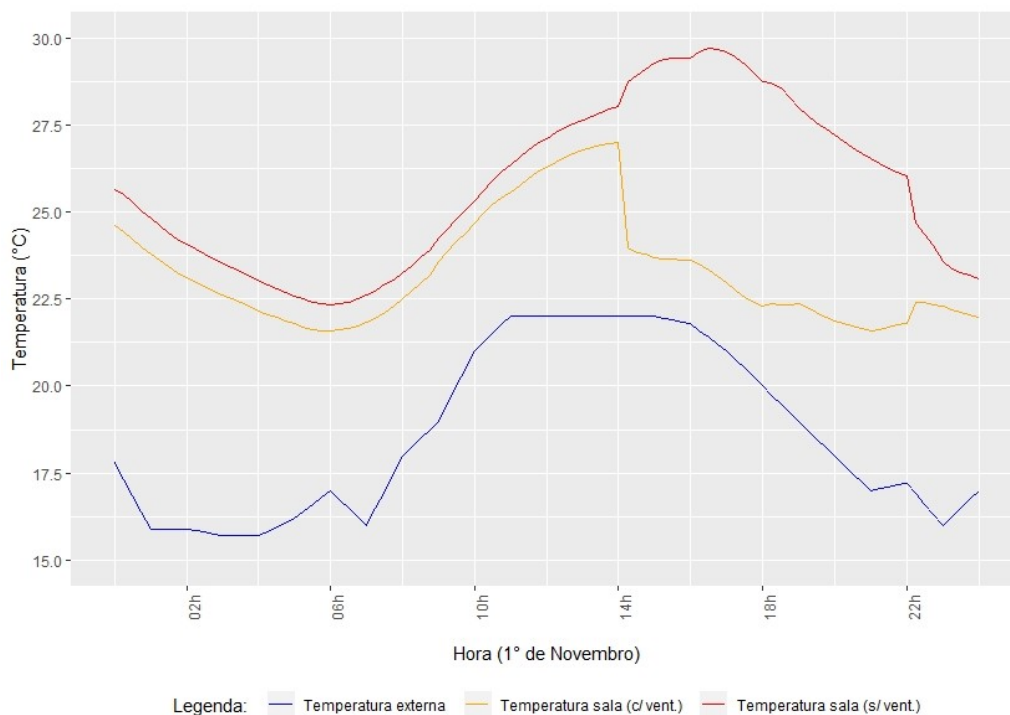


Figura 12: Temperatura interna da Sala com o uso da ventilação natural.



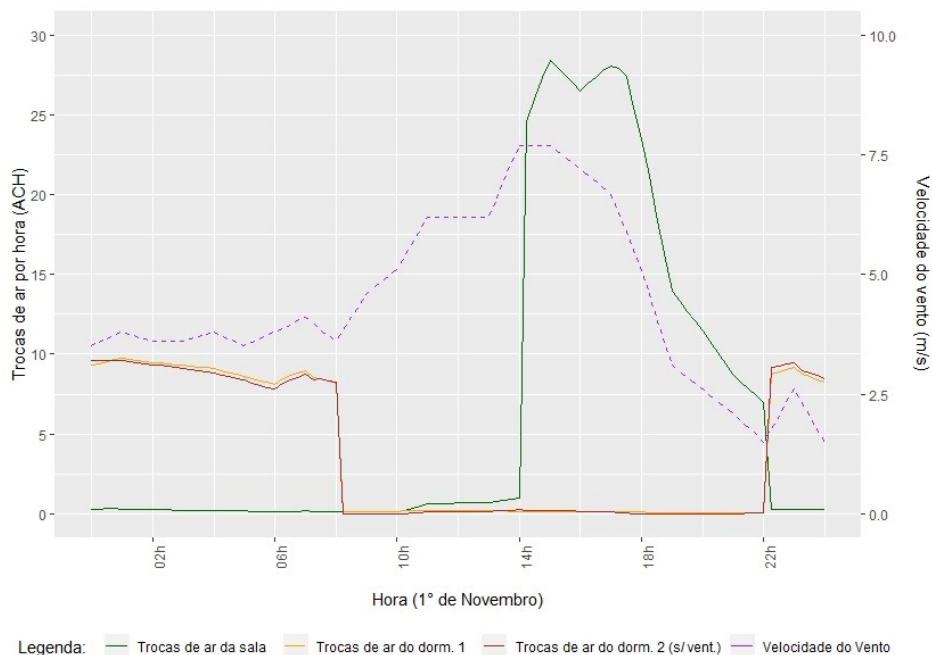
5.1.5.2 Análise das trocas de ar da edificação versus a velocidade do vento

As trocas de ar em cada ambiente dependem das *schedules* de condições de abertura e temperatura pré-determinadas no objeto *AirflowNetwork*. O controle da ventilação natural é

definido no objeto *Ventilation Control Mode*. Neste caso, conforme descrito anteriormente, as aberturas das janelas respeitam o controle *Temperature*. Sendo assim, as janelas são abertas quando: - a temperatura da zona é maior que a temperatura externa; - a temperatura da zona é maior que a temperatura da schedule de temperatura da zona, definida em *Ventilation Control Zone Temperature Setpoint*, e; - a *schedule de Venting Availability Schedule* permitir a ventilação na edificação.

Através da Figura 13 pode-se observar que o Dormitório 1 e o Dormitório 2 apresentam comportamento similar, devido às suas *schedules* de ventilação serem iguais. Já a Sala apresenta comportamento diferente, pois sua *schedule* de ventilação permite as trocas de ar em horários opostos aos dormitórios. Nas Figura 10, Figura 11 e Figura 12, observa-se ainda que, em nenhum momento a temperatura interna foi menor que 19°C ou menor do que a temperatura externa em nenhum dos ambientes, portanto, as janelas se mantiveram abertas sempre que as *schedules* de ventilação comandaram, como evidencia a Figura 13. Sendo assim, as trocas de ar dos dormitórios se mantiveram na faixa de 9 trocas por hora, apresentando uma queda até 8 trocas por hora, próximo das 06h, enquanto a sala manteve as trocas de ar na faixa de 27,5 trocas por hora das 14h às 18h, e, a partir de então, diminuiu as trocas bruscamente até 2,5 trocas por horas, às 22h, acompanhando a queda brusca da intensidade do vento. Como constatado, as trocas de ar seguem o comportamento da velocidade do vento, pois a ventilação natural não utiliza qualquer equipamento mecânico que possa perturbar a influência direta do vento sobre a ventilação.

Figura 13: Análise da velocidade do vento e trocas de ar.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. **ASHRAE Handbook – Fundamentals**. Atlanta, 2001.

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. **ANSI/ASHRAE Standard 55-2010: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta, 2004.

Atkins, R. E., J. A. Peterka, and J. E. Cermak. 1979. "Averaged pressure coefficients for rectangular buildings," Wind Engineering, Proceedings of the Fifth International Conference 7:369-80, Fort Collins, CO. Pergamon Press, NY.

DOE. United States Department of Energy. Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/buildings/downloads/energyplus-0>. Acesso em: fevereiro de 2018.

ENERGYPLUS. Programa de simulação computacional. Disponível em: <http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus>

ENGINEERING REFERENCE. Fórmulas e métodos de cálculo adotados pelo programa EnergyPlus. Disponível juntamente com o *download* do programa.

FEUSTEL, H. E.(ed.); RAYNOR-HOOLEN, A. (ed) Fundamentals of the Multizone AirFlow Model – COMIS. Technical Note 29. Great Britain: AIVC, 1990.

GETTING STARTED. Manual do programa EnergyPlus. Disponível juntamente com o *download* do programa.

INPUT OUTPUT REFERENCE. Dados de entrada e saída do programa EnergyPlus. Disponível juntamente com o *download* do programa.

LIDDAMENT, M. Air Infiltration Calculation Techniques – An Applications Guide. Bracknell, Berkshire. 1986.

GU, Lixing. Airflow network modeling in EnergyPlus. In: 10th International Building Performance Simulation. **Proceedings...**Beijing,2007.

SWAMI, M. V. and S. CHANDRA. 1988. Correlations for pressure distribution on buildings and calculation of natural-ventilation airflow, ASHRAE Transactions 94 (1988) (Pt 1), pp. 243-266.

TNO BUILT ENVIRONMENT AND GEOSCIENCES. Programa para cálculo do coeficiente de pressão do vento. Disponível em: <http://www.cpgen.bouw.tno.nl/cp/>

WALKER, I.S., and WILSON, D.J., (1994), "Practical Methods for Improving Estimates of Natural Ventilation Rates", Proc. 15th AIVC Conference : The Role of Ventilation, Buxton, U.K., September 1994. (Presented by ISW, Best Paper Award).

WALTON, G. N. 1989. "AIRNET – A Computer Program for Building Airflow Network Modeling," NISTIR 89-4072, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland.

WINDS EFFECTS ON BUILDINGS AND URBAN ENVIRONMENT. Valores dos coeficientes de pressão. Disponível em: http://www.wind.arch.t-kougei.ac.jp/eng/w_it.html