

ESTUDO DO DESEMPENHO TÉRMICO E INFLUÊNCIA DOS VENTOS LOCAIS EM FACHADAS VENTILADAS NO CLIMA DO LITORAL CATARINENSE

Emerson Antônio Penso (1); Martin Ordenes Mizgier (2)

(1) Esp, Mestrando, emerson@labcon.ufsc.br, UFSC, Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico / Dep. Arquitetura e Urbanismo, +55 48 3721-4961

(2) Dr, Professor, e-mail: martin@arq.ufsc.br, UFSC, Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico / Dep. Arquitetura e Urbanismo, +55 48 3721-4961

RESUMO

O uso da fachada ventilada é uma opção para o revestimento de novos edifícios ou retrofit de edificações existentes, uma vez que a tecnologia do sistema ventilado agrega qualidades estéticas, facilidade de manutenção e contribuições quanto à redução do consumo energético, quando comparado ao sistema de revestimento aderido. Este trabalho é parte integrante de uma pesquisa de mestrado e tem por objetivo avaliar o desempenho do sistema de fachadas ventiladas, quando comparado com o sistema aderido, nas envoltórias de edifícios comerciais par o clima do litoral catarinense, adotando diferentes DCIs, verificando a redução da carga térmica anual da edificação e as reduções por orientações das zonas térmicas, bem como a ação dos ventos locais. Estes dados foram gerados com simulação computacional com o com o software Energy Plus. O estudo comparou o sistema de fachada ventilada (revestimento cerâmico externo, cavidade de ar e alvenaria convencional), com os obtidos das simulações do sistema aderido (revestimento cerâmico, argamassa e alvenaria), relacionando diferentes cargas internas. Resultados analisados indicam que a influência do clima local na carga térmica é maior para DCIs mais baixas. Já avaliando a condução térmica de calor pela envoltória, observa-se que, mesmo a fachada ventilada tendo uma menor perda de calor para o meio externo durante as horas que não recebe radiação solar na sua superfície durante o verão, a mesma diminui a um terço a quantidade de calor que entra pelas envoltórias, proveniente do aquecimento superficial do revestimento. Quando avaliada a redução da carga térmica por zona térmica, as orientações Norte, Oeste tem maior redução com o uso do sistema. Entretanto, o uso na orientação leste e sul também oferecem reduções significativas.

Palavras-chave: Simulação Computacional, Energy Plus, Fachada Ventilada, Desempenho Térmico.

ABSTRACT

Ventilated façade is an option for the envelope of new buildings or the makeover of existing buildings, since a ventilated system technology adds aesthetic qualities, ease of maintenance and contributions regarding the reduction of energy consumption, when compared to a traditional wall cladding system. This work is part of a master 's research and aims to evaluate the use of the ventilated façade system when compared to the adhered system for commercial building on Santa Catarina coast climate. Calculations were made with computer simulation with the Energy Plus software, adopting different ILD, verifying the reduction of annual thermal load of the building and the reductions by orientations of the thermal zones, as well as the action of the local winds. The study compared the ventilated façade system (external ceramic coating, air cavity and conventional masonry), with the results obtained from traditional wall cladding simulations (ceramic coating, mortar and masonry), relating different internal loads. Results analyzed indicate that the influence of the local climate on the thermal load is higher for lower ILD. It is observed that even the ventilated façade having a lower heat loss to the external environment during the hours that do not receive solar radiation on the surface during the summer, it decreases to a third the gain of internal heat load from the outside environment. When evaluating the reduction of the thermal load by thermal zone, North and West orientations have greater reduction with the use of the ventilated façade. However, east and south orientation also offer significant reductions using a ventilated façade.

Keywords: Computer simulation, Energy Plus, Ventilated Façade, Energy Efficiency.

1. INTRODUÇÃO

Durante a última década, governos e agências internacionais tem dedicado significativo esforço para aumentar o desempenho energético de edificações existentes. Os governos dos Estados Unidos, Austrália e Reino Unido, por exemplo, criaram programas que incentivam ações de renovação e *retrofit* de edificações, além de orientações para soluções pré-fabricadas que sejam consoantes com a eficiência energética (MA et al, 2012).

As edificações brasileiras, segundo o Balanço Energético Nacional (EPE, 2015), são responsáveis por 50% do consumo de energia elétrica no país, sendo que o percentual é superior ao observado no consumo das edificações nos Estados Unidos e na Europa (BPIE, 2015). O consumo de energia elétrica demandou maior atenção nos últimos anos no Brasil, a falta de chuvas e a baixa do nível dos reservatórios das hidroelétricas, principal matriz energética do país, levaram à crise energética e ao risco de racionamento ocorridos nos anos de 2014 e 2015, de acordo com Cerqueira, G. A. et al. (2015). Este cenário resultou, inclusive, no acionamento de termoelétricas resultando em energia com alto custo financeiro e ambiental.

Entre as maneiras de se reduzir o consumo de energia, proveniente da necessidade de climatização, busca-se estudar e propor tecnologias para o melhor desempenho térmico das edificações. Segundo a ABESCO (2016) vários pontos devem ser observados para reduzir o desperdício de energia em edificações, onde os principais sistemas consumidores de energia elétrica são a climatização e a iluminação. Neste contexto, as envoltórias possuem um papel fundamental, atuando como reguladoras das condições internas e externas ao controlar a admissão de calor, trocas de ar, luz, ruídos, ventos e intempéries. As fachadas ventiladas podem interferir diretamente nos principais sistemas consumidores de energia elétrica da edificação, e segundo Campos (2011) também são amplamente utilizadas pelas qualidades de eficiência energética, beleza, resistência, potencial criativo e conforto, os quais são argumentos que promovem as especificações entre os profissionais da indústria da construção civil.

O comportamento termo energético da envoltória com sistema ventilado diferencia-se do sistema aderido pelo fluxo de ar por meio da cavidade entre a alvenaria e o revestimento, como é observado na Figura 1. O comportamento termo energético desse sistema envolve trocas térmicas complexas, influenciadas pela cor e composição do revestimento externo e condições do clima local (regime de ventos, temperatura do ar e níveis de radiação solar). Nos estudos de Sanjuan et al. (2011) e Francés et al. (2013), evidencia-se que o sistema ventilado tem um efeito maior na redução do consumo de energia para climas de verão intenso e invernos mais amenos, características climáticas comuns nos climas brasileiros.

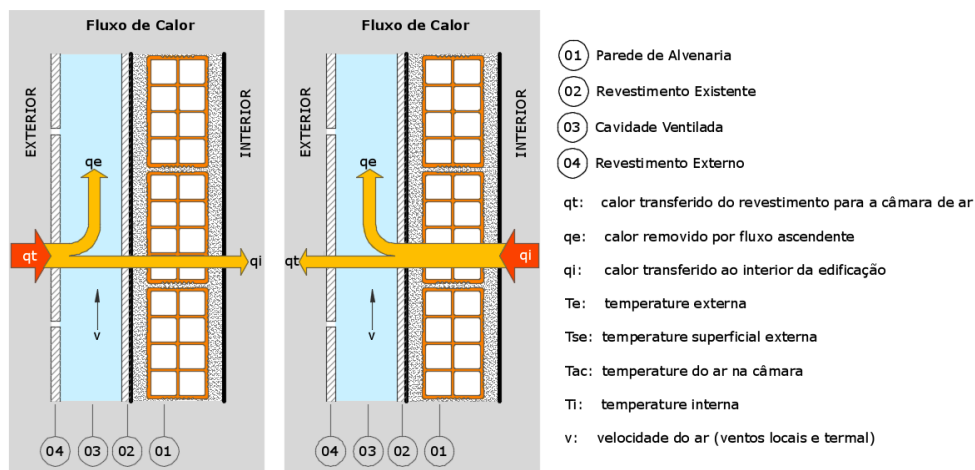


Figura 1 - Esquema de trocas térmicas de uma fachada ventilada no verão (e) e inverno (d).

A certificação de edificações comerciais RTQ-C INMETRO (2013) apresenta o método prescritivo que leva em consideração, para a envoltória, somente o valor da transmitância. Porém, esta constante não reflete o potencial de um sistema que tem uma transmitância variável, perdendo, assim, as reais contribuições para a redução da carga térmica do edifício na pontuação da certificação. Uma vez que edifícios públicos para sediar entidades do governo exigem classificação “Nível A”, por exemplo, a necessidade de uma metodologia que permita quantificar os impactos do uso de diferentes sistemas de envoltória, pode oferecer soluções que demonstrem, com melhor propriedade, as reduções necessárias.

Normas como a NBR 15220 - Desempenho Térmico de Edificações (ABNT, 2005) apresentam métodos de cálculo das principais propriedades térmicas da envoltória: transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico e também relações entre as propriedades térmicas dos materiais, absorvância e emissividade de superfícies devido às suas cores. Apesar de seu caráter prescritivo, os dados por ela apresentados são de grande

valia na concepção de projetos de envoltórias. Cabe ressaltar, contudo, que as trocas térmicas em componentes opacos aumentam consideravelmente de complexidade à medida em que são adicionados elementos aos envelopes construtivos como os que compõem as fachadas ventiladas. No que tange a utilização destas, a NBR 15220 (ABNT, 2005) não é específica, porém abrange a utilização de câmaras de ar para melhoria do desempenho da envoltória. A norma caracteriza as câmaras de ar em ventiladas e não ventiladas, ao mesmo tempo em que apresenta valores válidos para casos com temperatura média da camada entre 0°C e 20°C e com uma diferença de temperatura entre as superfícies limitantes menor do que 15°C.

Portanto, uma lacuna referente ao comportamento da câmara de ar considerando os efeitos do ingresso dos ventos locais e efeito chaminé no desempenho do sistema de fachada ventilada, bem como a representatividade destes parâmetros quando da densidade de cargas internas da ocupação do edifício.

2. OBJETIVO

Com este estudo, procura-se compreender os potenciais do uso da fachada ventilada para a redução de carga térmica durante o verão, frente ao sistema de revestimento aderido, para o clima do litoral catarinense, considerando diferentes densidades de carga interna (DCI), a orientação das zonas térmicas e o comportamento da cavidade ventilada em resposta ao regime de ventos locais.

3. MÉTODO

Com o intuito de compreender o comportamento do sistema de fachada ventilada, quando comparado ao sistema aderido, foram investigados os fenômenos de trocas de calor através de componentes opacos da envoltória e camadas intermediárias das estruturas das mesmas. Para isso, a condição dos ventos locais, o tipo de densidade de ocupação do edifício, a cor dos elementos opacos de revestimento e o consumo de energia para o sistema de ar condicionado foram analisados em conjunto, oferecendo critérios para uma melhor compreensão do uso do sistema ventilado e como referência para a adoção do sistema por projetistas.

Para este estudo, foi considerado o clima da cidade de Florianópolis, como representativo do clima do litoral catarinense, que conforme a NBR 15220 (ABNT 2005), está localizada na zona bioclimática ZB3, encontra-se em uma altitude de 802 m, latitude 27,67°S, longitude 48,55°O, com temperaturas mensais médias que variam entre 14°C e 27°C e amplitude térmica anual de 34°C.

Para a comparação e avaliação do desempenho energético do uso do sistema de fachada ventilada para este clima, foi adotado um método que compara a carga térmica de dois modelos de mesmas dimensões e localização, porém modificando a configuração do revestimento das envoltórias.

3.1 Parâmetros do Modelo

O modelo de referência para a simulação computacional foi desenvolvido conforme o Quadro 1, Figura 2 e Figura 3.

Quadro 1 - Parâmetros do modelo

Parâmetro	Valor			
Localização	Florianópolis – SC – Brasil – Terreno: Cidade (Ver Quadro 2)			
Arquivo Climático	FlorianopolisTRY1963_05CSV.epw			
Parede de Alvenaria	e: 15cm λ : 0,89 C: 1920kg/m ³ ρ : 50% U: 2,28 W/m ² .°C			
Aberturas	FS = 0,42; PAF 40%			
Revestimento	Cerâmica Preta: α ,90 – Para o revestimento aderido e ventilado.			
Cargas Internas		Iluminação	Pessoas	Equipamentos
	Alta	16 W/m ²	7,7m ² /pessoa	21,5 W/m ²
	Média	14W/m ²	10m ² /pessoa	10,7 W/m ²
	Baixa	12W/m ²	15m ² /pessoa	5,4 W/m ²
Geometria	10 pavimentos	Altura:	Largura:	Profundidade:
		3,15m	16m	16m
Zonas Térmicas	Leste, Oeste, Norte, Sul e Central			
Cobertura	U_{cob} : 1,0 W/m ² .°C (Atendendo o RTQC Nível A)			
Funcionamento	Anual, Dias da Semana, 8:00 – 12:00 e 14:00 – 18:00			
Ar Condicionado	PHTP ; COP 3,0; Setpoint: 24°C refrigeração e 20°C aquecimento; Renovação de ar: 27m ³ /h/pessoa;			
Elaborado a partir da NBR 15220 (ABNT. 2005) e NBR 16401 (ABNT. 2008)				

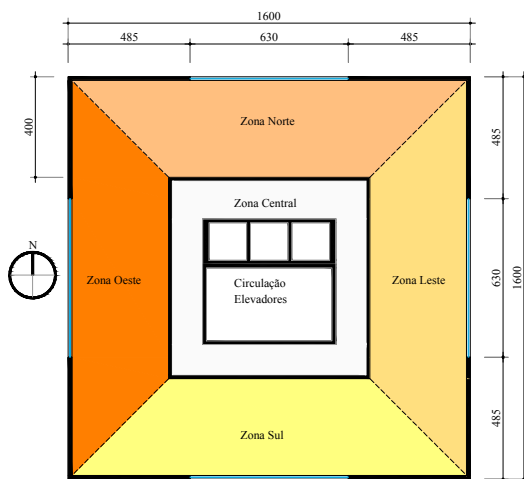


Figura 3 Planta esquemática do pavimento tipo

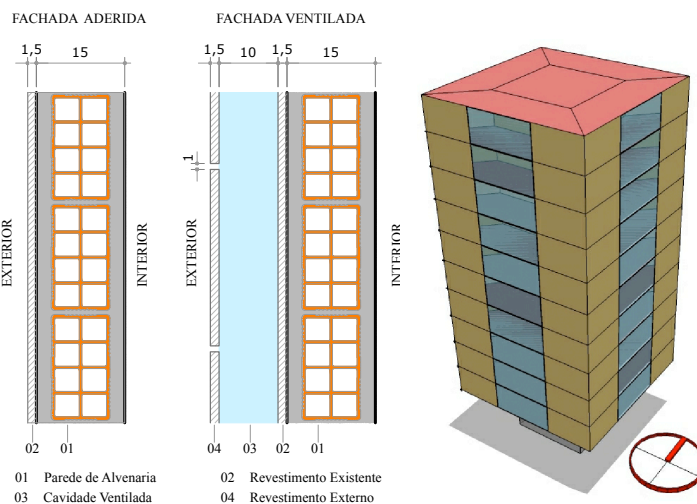


Figura 3 Detalhes do modelo e tipos de envoltórias

Na Figura 3, são apresentados o sistema de fachada comum e o sistema ventilado com juntas abertas. Com o objetivo de analisar a diferença de desempenho termo energético da edificação ao adotar a solução ventilada de revestimento, considerou-se no modelo ventilado a alvenaria revestida por cerâmica, uma vez que o modelo base é revestido. O formato com zonas térmicas periféricas e um núcleo de circulação foi adaptado com base na ASHRAE Standard 90.1(2013).

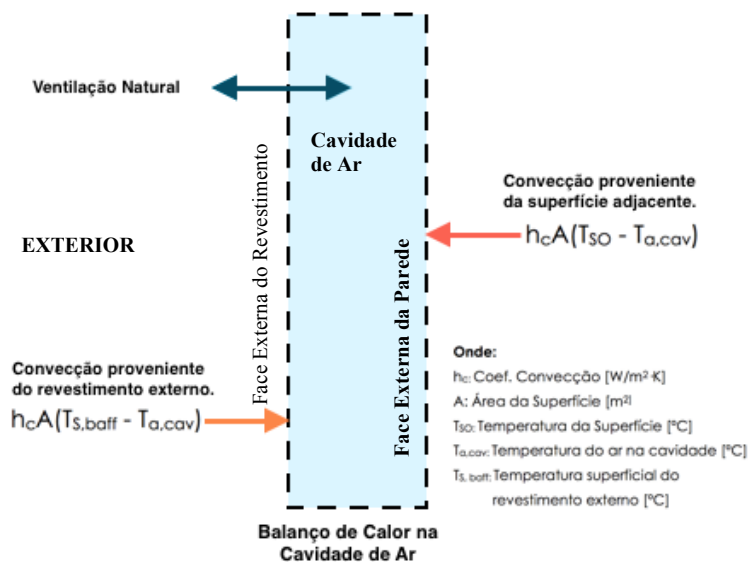


Figura 4 – Esquema do balanço térmico e ventilação na cavidade de ar. Adaptado de EnergyPlus (2013)

Para a configuração da fachada com revestimento aderido no programa EnergyPlus, utilizou-se do componente “*Constructions*”, que cria as camadas de materiais e a ordem que eles se sobrepõem, em conjunto com o “*Building Surface: Detailed*”, onde se configura, entre outros parâmetros, a forma de exposição ao sol e vento.

Já para o caso da simulação da fachada ventilada (com revestimento não aderido), este programa de simulação oferece um módulo que permite a simulação de fachadas ventiladas. Chamado de *external natural vented cavity*, permite a configuração da alvenaria ou materiais que compõe a vedação da fachada, a cavidade de ar e as características do revestimento externo.

O balanço térmico na fachada leva em consideração a radiação solar direta e refletida e a ventilação natural e derivada do efeito chaminé na cavidade de ar. Os cálculos utilizam as informações contidas no arquivo climático para a intensidade de ventos, e adotam os coeficientes de eficiência das aberturas conforme as definições do usuário para caracterizar o ângulo com o qual os ventos locais estão em relação ao plano da fachada. A Figura 4 apresenta o esquema como o programa EnergyPlus calcula as trocas térmicas e a ventilação na cavidade de ar na fachada ventilada.

O programa oferece os módulos: “*Surface Property: Exterior Natural Vented Cavity*” em conjunto com “*Surface Property: Other Side Conditions Model*”, que juntos permitem calcular as trocas de calor que ocorrem na cavidade ventilada, admissão de ventilação proveniente dos ventos locais e por efeito chaminé entre o revestimento externo, chamado de “*baffle*”, e a parede de alvenaria revestida. Esse parâmetro será configurado no “*Building Surface: Detailed*” e, ao invés das superfícies das paredes externas serem configuradas para “*Outdoors*”, elas serão configuradas como “*Other Side Conditions Model*”.

O balanço térmico do volume de ar na cavidade é dado pela Equação 1, que define que a somatória do fluxo de calor proveniente da ventilação natural, da convecção na cavidade e da convecção no revestimento é igual a zero. Isso ocorre, pois, os fluxos de calor assumem valores positivos e negativos (ganhos e perdas) e as três variáveis tendem ao equilíbrio térmico. O cálculo da temperatura na cavidade (Equação 2) é uma média da somatória dos produtos das temperaturas superficiais do revestimento com a área de cada superfície e o coeficiente de convecção de cada elemento e a temperatura ambiente multiplicado pelo volume de ventilação, que considera a ventilação total e a densidade do ar (Equação 3), em relação aos coeficientes de convecção e o volume de ventilação por forças naturais e o coeficiente de pressão.

$$\dot{Q}_{vent} + \dot{Q}_{co} + \dot{Q}_{c,baff} = 0 \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

\dot{Q}_{vent} é a taxa de energia adicionada pelos ventos locais;

\dot{Q}_{co} é a taxa de energia adicionada pela ventilação por convecção;

$\dot{Q}_{c,baff}$ é a taxa de energia adicionada pela convecção de calor do revestimento externo.

$$T_{a,cav} = \frac{(h_{c,cav} + \dot{m}_{vent} c_p T_{amb} + h_{c,cav} A T_{s,baff})}{(h_{c,cav} A + \dot{m}_{vent} c_p + h_{c,cav} A)} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

\dot{m}_{vent} é o volume de ventilação pela ação dos ventos locais [kg/s].

$$\dot{m}_{vent} = \rho \dot{V}_{tot} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

ρ é a densidade do ar [kg/m³];

\dot{V}_{tot} é a taxa de ventilação total [m³/s].

Nas equações de ventilação 4 e 5 demonstram os cálculos da ventilação total que é aplicada na Equação 03. Os inputs no componente “*Surface Property: Exterior Natural Vented Cavity*” interferem nessa parte da equação como: C_V que se refere ao parâmetro da eficiência das aberturas (*Effectiveness of the Openings*), C_D ao coeficiente de vazão (*Discharge Coefficient*) e ΔH_{NPL} ao ponto neutro de pressão (*Height for Buoyancy Driven Ventilation*). Este parâmetro é configurado em metros e define a altura do ponto neutro de pressão na envoltória.

A Equação 5 demonstra o cálculo da ventilação proveniente dos ventos locais, que é o produto do coeficiente C_V , a Área de infiltração e a velocidade do vento.

Já o volume de ventilação por efeito chaminé se dá pela Equação 06, que considera se o revestimento externo está na vertical** ou horizontal*.

$$\dot{V}_{tot} = \dot{V}_{vento} + \dot{V}_{termal} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

\dot{V}_{vento} é a taxa do volume de ventilação proveniente dos ventos locais [m³/s],

\dot{V}_{termal} é a taxa do volume de ventilação proveniente da convecção (efeito chaminé) [m³/s]

$$\dot{V}_{vento} = C_v A_{in} U_{\infty} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

C_v é o coeficiente de descarga;

A_{in} é área livre das aberturas [m²] (somatório da área das aberturas – juntas abertas);

U_{∞} é a velocidade média do vento para o intervalo do cálculo [m/s] (ver Equação 6).

O regime de ventos locais influencia na simulação, uma vez que a velocidade do vento é interpretada como proveniente de uma estação meteorológica localizada em campo aberto e com os dados coletados a 10 metros de altura. Para ajustar-se às várias condições de terreno e diferentes alturas das superfícies da envoltória

do edifício, a velocidade do vento é calculada para cada superfície. A Equação 7 demonstra como é feito esse ajuste na velocidade do vento, segundo a ASHRAE (2001).

$$U_{\infty} = V_{met} \left(\frac{\delta_{met}}{Z_{met}} \right)^{a_{met}} \left(\frac{Z}{\delta} \right)^a \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

- V_{met} é a velocidade do vento medida pela estação [m/s];
- Z é a altura central da superfície calculada [m];
- Z_{met} é a altura do sensor de medição da estação meteorológica;
- δ é referente ao tipo de superfície do terreno informado;
- δ_{met} é o tipo de superfície do local da estação meteorológica;
- a_{met} e a são coeficientes relacionados ao tipo de terreno. (ver Quadro2)

Quadro 2 – Coeficientes relacionados ao terreno.

Terreno	Descrição	a	δ (m)
1	Plano, Campo Aberto	0.14	270
2	Irregular, Arborizado	0.22	370
3	Cidade	0.33	460
4	Oceano	0.10	210
5	Urbano, Industrial, Florestal	0.22	370

Fonte: Adaptado de Engineering Reference — EnergyPlus 8.0

$$\dot{V}_{terminal} = \begin{cases} C_D A_{in} \sqrt{2g \Delta H_{NPL} (T_{a,cav} - T_{amb}) / T_{a,cav}} & (T_{a,cav} > T_{amb}) \\ C_D A_{in} \sqrt{2g \Delta H_{NPL} (T_{amb} - T_{a,cav}) / T_{amb}} & (T_{a,cav} < T_{amb}) \end{cases} \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

- C_D é o coeficiente de descarga;
- g é a constante da aceleração da gravidade [9,81 m/s²];
- ΔH_{NPL} é o ponto de pressão neutro [m].

Considerando a Equação 7, no componente “*Surface Property: Exterior Natural Vented Cavity*” para os parâmetros como: C_V que se refere ao parâmetro da eficiência das aberturas (*Effectiveness of the Openings*), C_D ao coeficiente de vazão (*Discharge Coefficient*), foram mantidos os valores padrão do programa (0,25 e 0,65 respectivamente). Já o ΔH_{NPL} define a altura do ponto neutro de pressão na envoltória. Uma vez que o revestimento externo tem aberturas ao longo de toda a superfície (por se tratar de uma fachada ventilada com juntas abertas), a relação da diferença do ponto de pressão neutro entre o interior da cavidade e o ambiente externo é definida ao longo das juntas abertas do revestimento, dessa forma, sendo definido com 0,3 para efeitos de cálculo para esse estudo.

3.2 Parâmetros de Saída

Com o intuito de avaliar o comportamento térmico das envoltórias com diferentes sistemas de revestimento, foram configurados os parâmetros de saída para a simulação da fachada com revestimento aderido e para a fachada ventilada opaca conforme a Figura 5, sendo que foram feitas avaliações anuais para consumo de energia. Para os demais parâmetros de saída, foram feitas análises horárias para o dia típico de verão.

Os arquivos climáticos foram investigados através dos diagramas de ventos e a radiação solar, utilizando o software *Climate Consultant*, caracterizando assim o clima típico de cada cidade que melhor representar a estação do verão (período do ano onde mais se exige do sistema de ar condicionado).

Para a fachada com revestimento aderido e fachada ventilada opaca, a investigação do comportamento das envoltórias e deu por meio da comparação dos ganhos e perdas de calor. Com essa comparação, pode-se observar quais os períodos de ganho e perda de calor na edificação e a diferença entre os sistemas nesse aspecto.

O fluxograma, na Figura 5, demonstra as etapas adotadas para as simulações e obtenção de dados. Partindo de um mesmo modelo, as cargas internas foram alteradas para baixa, média e alta ocupações, mantendo a absorvância solar para a cor preta.

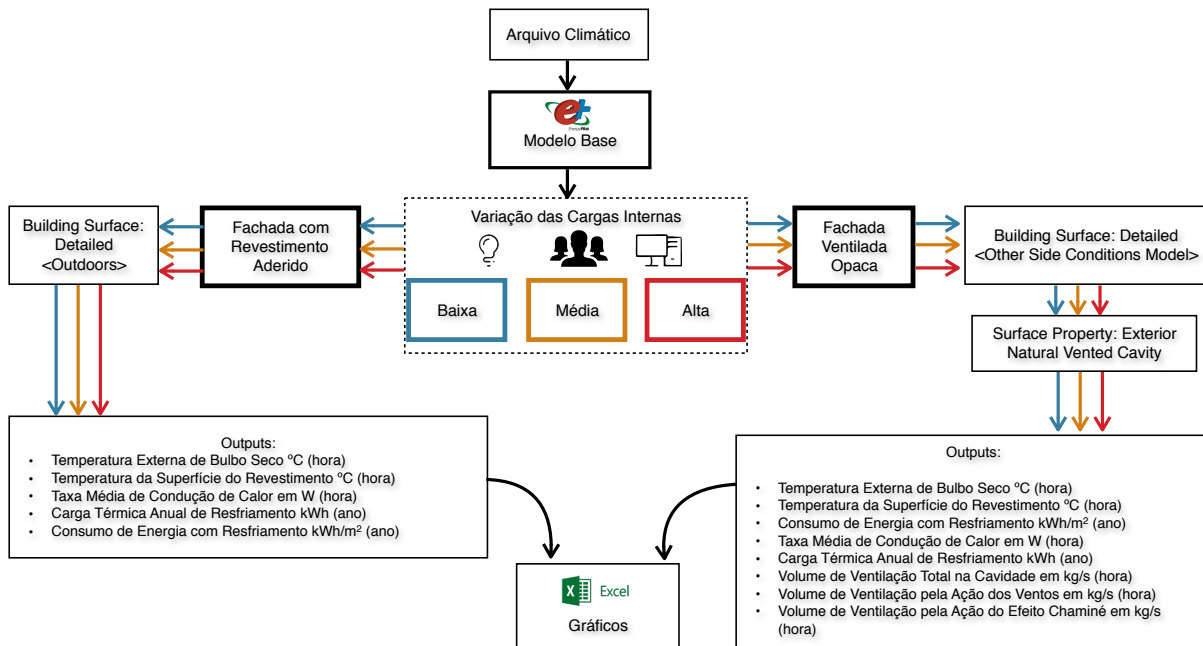


Figura 5 – Organograma da simulação

Este estudo foi desenvolvido somente com as fachadas ventilada e aderida revestidas com cerâmica preta, uma vez que em estudos anteriores de Mizgier e Penso (2016) demonstraram uma maior redução de consumo de energia anual para o sistema de ar condicionado, quando do uso da fachada ventilada com revestimentos com absorvância solar de 0,90 (cor preta). Para este caso as reduções ficaram na ordem de até 19%, quando comparado ao sistema aderido, para o modelo simulado naquele estudo. Para absorvâncias menores, o estudo indicou reduções no consumo de até 6% para revestimento com absorvância solar de 0,55 (cor marrom), e aumento no consumo com o uso de revestimento com absorvância solar de 0,20 (cor branca).

4. RESULTADOS

Primeiramente, o desempenho termo energético da fachada ventilada foi avaliado observando as diferenças percentuais da carga interna anual para o edifício para diferentes densidades de carga interna (DCI). Na Figura 6, pode-se observar que a maior diferença percentual ocorre com o uso da fachada ventilada em um edifício com menor DCI. Porém, em números absolutos, a redução da carga térmica em 3,45 kWh/m² anual, para o caso com alta DCI, é 24% maior do que os resultados obtidos baixa DCI que teve uma redução de 2,60 kWh/m² anual. Para um edifício com fachada ventilada e com alta DCI, a redução na carga térmica percentualmente é menor, mas ainda assim, em valores absolutos, tem um valor expressivo para a economia anual de energia. Estes dados sugerem que quanto menor for a DCI maior será a diminuição percentual de carga térmica. Porém, em números absolutos, nos três casos estudados, as reduções são significativas para a redução do consumo de energia anual com o uso da fachada ventilada, independente das DCIs.

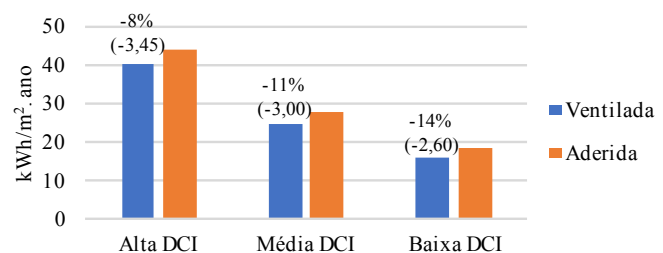


Figura 7 – Redução do consumo de energia para resfriamento anual em comparação às DCIs.

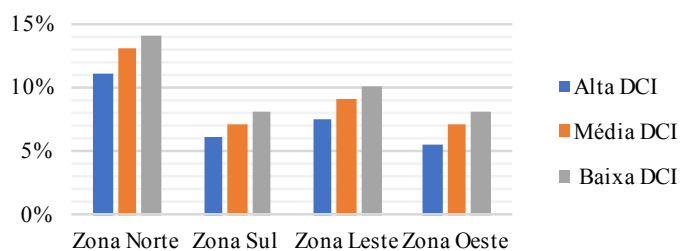


Figura 7 – Fachada Ventilada Preta - Redução percentual da carga térmica por orientação e DCI com referência ao sistema aderido.

Na Figura 7, pode-se observar que a variação percentual de redução de carga térmica é similar para as 4 orientações, sendo que são maiores quanto menor forem as DCIs. Porém, na Figura 8, observando os valores absolutos da redução da carga térmica, podemos observar um comportamento similar para as orientações leste e oeste. Já a fachada sul tem a mesma redução de carga térmica para os três casos, indicando assim que a DCI é a principal variante na diferença de carga térmica da edificação e que o sistema de fachada ventilada é eficiente para reduzir o aumento da carga térmica proveniente do meio externo, principalmente.

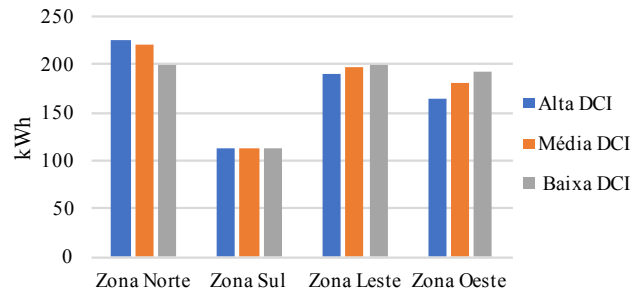


Figura 8 – Fachada Ventilada Preta – Redução absoluta da carga térmica por orientação e DCI com referência ao sistema aderido.

Além disso, a orientação norte tem comportamento inverso às demais, sendo que as reduções de carga térmica nessa zona são maiores para o caso com alta DCI, mesmo assim, em valores percentuais esta orientação se mantém em 11%, e a baixa DCI com 14%. Este comportamento está associado à exposição contínua com a radiação solar durante a maior parte do dia para a orientação norte, reduzindo a capacidade da fachada ventilada também atuar como mecanismo de perda de calor interno e não somente atenuador do ingresso de calor. Esses dados indicam que a avaliação do sistema ventilado, e o comportamento termo energético do mesmo, deve ser feito sob diversas abordagens numéricas, pois análises percentuais podem levar a conclusões precipitadas.

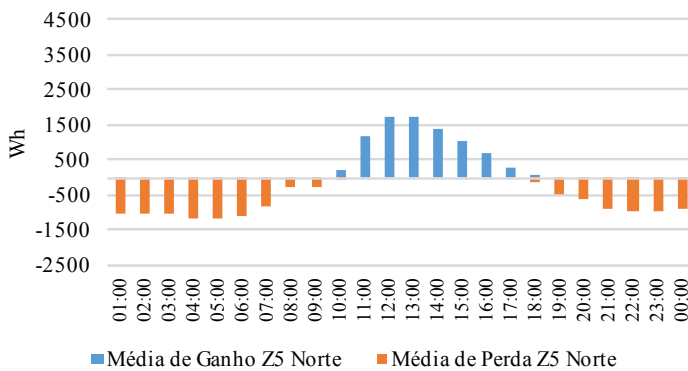


Figura 10 – Fachada Ventilada Preta – Ganhos e Perdas de Calor Orientação Norte

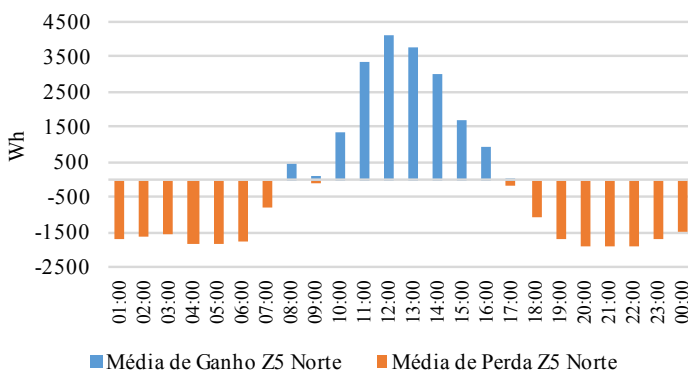


Figura 10 - Fachada Aderida Preta – Ganhos e Perdas de Calor Orientação Norte

O fluxo de ganho e perda de calor é outro fenômeno físico que pode indicar alguns pontos que melhoram a compreensão do sistema ventilado. Nas Figura 9 e 10, que apresentam o fluxo médio de calor com os ganhos e as perdas durante o dia de estudo para a zona térmica norte, pode-se observar que as perdas de calor com o uso da fachada ventilada são quase 50% menores quando comparadas às perdas com a fachada aderida. Porém os ganhos ao longo do dia, em que o sistema de ar condicionado está em funcionamento, são 75% menores na maior parte do tempo (entre as 10 e 16 horas), sendo que no período entre as 8 e 10 horas, com o sistema ventilado, a edificação continua perdendo calor, comportamento oposto ao sistema aderido.

Tanto os ventos locais que ingressam na cavidade de ar quanto a ventilação por efeito chaminé (decorrente dos fenômenos de convecção) interferem no desempenho da fachada ventilada. A Figura 11 demonstra como estes fenômenos se comportam dentro da cavidade de ar da fachada com orientação norte para o dia de estudo.

O volume de ventilação por efeito chaminé deve ser observado levando em consideração as temperaturas superficiais do revestimento, ar e também as perdas e ganhos de calor pela alvenaria, conforme visto na Figura 9. Existe um comportamento constante

da ventilação por efeito chaminé até as 13:00hs, com pequenas variações, e isso está relacionado com a perda de calor com a edificação e as diferenças de temperatura do ar na cavidade e a temperatura ambiente. Por se tratar de um fenômeno térmico, conforme visto na Equação 7, quanto maior a diferença entre as temperaturas ambiente e da cavidade maior será a ventilação por efeito chaminé resultante.

Da mesma forma, quanto maior a temperatura do revestimento, ou maiores as perdas de calor pela alvenaria, maior será a temperatura interna da cavidade, aumentando, assim, a ventilação por efeito chaminé (ou ventilação termal). Esse fenômeno é diretamente ligado à perda ou ao ganho de calor juntamente com a ventilação local, que faz parte do volume total de ventilação na cavidade de ar conforme a Equação 4. Porém, observa-se que, quando ocorre o aumento da ventilação proveniente dos ventos locais, a ventilação por efeito chaminé diminui.

Já, na ausência de ventos locais, a ventilação por efeito chaminé chega no valor máximo. Isso indica que a fachada ventilada tem movimento de ar constante na cavidade, porém os ventos locais podem influenciar de forma mais intensa a perda de calor, ou diminuição nos ganhos da mesma pela edificação. Para melhor compreender a influência dos ventos locais, a Figura 12 demonstra o regime dos ventos locais para o dia de estudo, velocidade e intensidade dos mesmos, além de informações de temperatura e umidade relativa. Neste estudo, os ventos caracterizam 60% das horas do dia com os ventos provenientes da orientação nordeste, estes com as maiores velocidades. Para o clima em estudo, o vento é predominante nessa orientação, o que nos oferece um cenário típico para o regime de ventos locais durante o ano.

O presente estudo permitiu uma visão objetiva sobre o comportamento de ganhos e perdas de calor para os sistemas de fachada com revestimento aderido e fachada ventilada, considerando diferentes densidades de cargas internas e a influência dos ventos locais.

A adoção de uma metodologia que comparou os sistemas ventilado e aderido, observando a taxa média de condução de calor permite observações de como os sistemas se comportam termicamente e os impactos nos ganhos de carga térmica anual. A redução percentual de carga térmica com o uso da fachada ventilada tem reduções expressivas para todas as DCIs estudadas, e sugere que o sistema ventilado tem sua principal eficiência referente à redução da admissão de carga térmica proveniente do meio externo, porém, também auxilia nos fenômenos térmicos de perda de calor, principalmente nas orientações sul e leste.

A ventilação natural dentro da cavidade é a principal responsável pelo movimento de renovação de ar no sistema de fachada ventilada com juntas abertas, uma vez que o ingresso dos ventos é facilitado pelas aberturas no revestimento e sugere que o uso do mesmo é promissor em áreas com ventos constantes, típicos do litoral de Catarinense, porém a ventilação por efeito

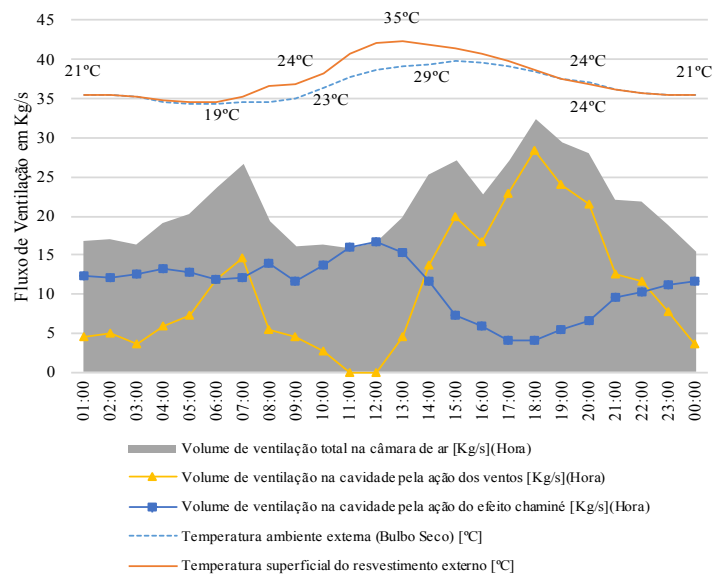


Figura 12 – Ventilação pela ação dos ventos locais, efeito chaminé e temperaturas superficiais – Norte

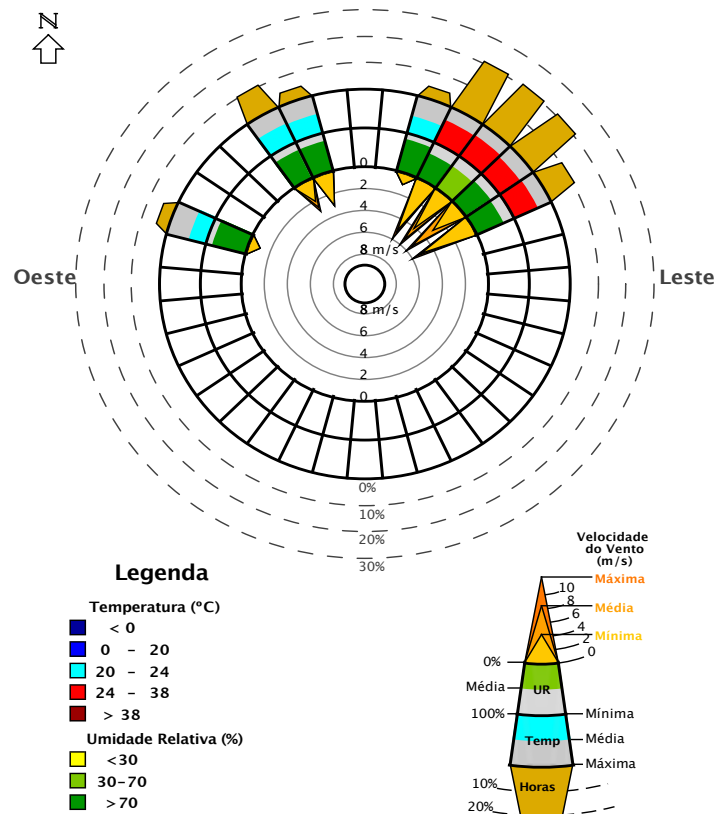


Figura 12 – Gráfico de ventos locais para o dia típico de verão. Adaptado do Software *Climate Consultant 6.0*

chaminé, quando da ausência ou menor intensidade dos ventos locais, mantém a cavidade com ar em movimento. Independente da forma que ocorre a ventilação na cavidade, esta resulta ora diminuindo o ingresso de carga térmica para o interior da edificação ora auxiliando na perda da mesma.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para especificadores e projetistas, o estudo oferece orientações pertinentes sobre a adoção do sistema de fachada ventilada em relação às orientações das zonas térmicas. As fachadas orientadas para Norte e Oeste se mostram como as que oferecem maiores reduções de carga térmica quanto do uso do sistema ventilado, uma vez que também ficam expostas por mais tempo à radiação solar direta e o sistema ventilado diminui, justamente, a admissão de calor para o interior da edificação. Quando se observa a DCI, quanto maior seu valor, menor a influência do clima no resultado final da carga térmica, mas mesmo com uma menor representatividade, os valores de redução ainda são significativos.

A economia de energia anual com refrigeração com o uso da fachada ventilada, que variou de 8% a 14%, dependendo da DCI, é outro fator a ser levado em consideração por projetistas ou investidores. Estes podem utilizar esses parâmetros em seus cálculos de *payback*. O sistema pode ser adotado em edifícios novos, já na fase de projeto ou em projetos de *retrofit* de envoltórias, como estratégia para melhorar o desempenho termo energético da edificação, visando certificações como o RTQ-C.

Em climas litorâneos, dadas as características de ventos constantes, o sistema oferece uma resposta positiva. Em centros urbanos verticalizados, o uso do sistema em edificações comerciais pode responder às necessidades de redução dos custos com climatização, além de ser um sistema com tecnologia agregada que torna mais simples a manutenção da fachada do edifício.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABESCO – Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia. Disponível em: <www.abesco.com.br>. Acesso em: agosto. 2016.
- ABNT. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**. Desempenho térmico de edificações. Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005.
- _____. **NBR 16401**: Instalações de ar condicionado. - Sistemas centrais e unitários, 2008.
- ASHRAE. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS 2001. **ASHRAE Handbook – Fundamentals**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. USA, Atlanta: 2001.
- _____. Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. **ASHRAE Standard 90.1–2013**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta, 2013.
- BPIE. **Europe’s buildings under the microscope: A country-by-country review of the energy performance of buildings**. Buildings Performance Institute Europe Brussels. 2015.
- CAMPOS, K. F. **Desenvolvimento de sistema de fixação de fachada ventilada com porcelanato de fina espessura**. Dissertação. Florianópolis, 2011.
- CERQUEIRA, G. A. *et al.* **A Crise Hídrica e suas Consequências**. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, abril/2015 (**Boletim do Legislativo no 27, de 2015**). Disponível em: www.senado.leg.br/estudos. Acesso em 16 de abril de 2015.
- ENERGYPLUS. **EnergyPlus Engineering Reference**. U.S. Department of Energy. 2013.
- EMPRESA, DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco energético nacional 2015: ano base 2014**. Rio de Janeiro, 2015.
- FRANCÉS, V. M. S. *et al.* **Modeling of ventilated façades for energy building simulation software**. Energy & Buildings, v. 65, p. 419–428, 2013.
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Requisitos técnicos da qualidade para o nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos: RTQ-C**. Rio de Janeiro: INMETRO, 2013.
- MA, Z. *et al.* **Existing building retrofits : Methodology and state-of-the-art**. Energy & Buildings, v. 55, p. 889–902, 2012.
- MIZGIER, Martin; PENSO, Emerson. **Desempenho térmico de fachadas ventiladas como proposta de retrofit em edifícios comerciais na cidade de São Paulo**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2016.
- SANJUAN, C. *et al.* **Energy performance of an open-joint ventilated façade compared with a conventional sealed cavity façade**. Solar Energy, v. 85, n. 9, p. 1851–1863, set. 2011.

AGRADECIMENTOS

Deixo expresso meus sinceros agradecimentos à CAPES pelo apoio financeiro e concessão de bolsa à Emerson Antônio Penso.