

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA TERMOENERGÉTICA DE PARÂMETROS FÍSICOS EM UMA EDIFICAÇÃO COM CONDICIONAMENTO DE AR

Fábyo Luiz Pereira

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Departamento de Engenharia Mecânica - Laboratório de Vapor e Refrigeração
fluizp@yahoo.com

Paulo Otto Beyer

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Departamento de Engenharia Mecânica - Laboratório de Vapor e Refrigeração
pob@mecanica.ufrgs.br

Alexandre Otto Schwieder

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Departamento de Engenharia Mecânica - Laboratório de Vapor e Refrigeração
otto@ufrgs.br

Resumo: O presente trabalho apresenta um estudo sobre a influência que alguns parâmetros físicos têm, em termos de desempenho térmico, sobre uma edificação com condicionamento de ar do tipo expansão direta. Para tal foi utilizado o simulador energético EnergyPlus, onde são alterados apenas os seguintes parâmetros físicos: localização geográfica, tipo e área de vidro utilizada na fachada e a orientação do eixo norte da edificação em relação ao eixo norte verdadeiro. Nas simulações são usados os dados de dias de projeto de verão e inverno segundo a ASHRAE. Obtém-se como resultados os seguintes gráficos: potência de refrigeração instalada e consumo elétrico médio dos condicionadores de ar. Os resultados mostram que tanto a orientação quanto o tipo de vidro utilizado na edificação alteram sensivelmente a potência instalada necessária para obtenção de conforto térmico. Este documento faz parte de um projeto conjunto entre o Departamento de Engenharia Mecânica e o Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e visa produzir um CD-ROM interativo dirigido aos profissionais da construção civil, onde constarão estes resultados para 20 cidades brasileiras, o que auxiliará na busca por soluções que aumentem a eficiência energética das construções brasileiras.

Palavras-chave: EnergyPlus, simulação, potência térmica, consumo elétrico, vidro/película.

1. Introdução

Em ambientes fechados, a transferência de calor através de superfícies semitransparentes ocorre em taxas consideráveis, de modo que a determinação dos efeitos que estas interfaces provocam na demanda energética da edificação e no conforto térmico de seus ocupantes é imprescindível para minimizar o desperdício de energia.

Estimou-se (Winkelmann, 2001) que a transferência de calor pelas janelas seja responsável, em média, por 31% da carga térmica de resfriamento e por 17% da carga térmica de aquecimento em edificações comerciais nos Estados Unidos da América. Já em edificações residenciais, esses valores são 34% e 23%, respectivamente. Este dado, por si só, seria suficiente para justificar um estudo detalhado da influência dos vidros no desempenho térmico de uma edificação.

Ocorre, porém, que alguns parâmetros físicos podem maximizar ou minimizar esta influência, de modo que levando-os em consideração, pode-se obter melhores soluções em termos de desempenho térmico de uma edificação. Esta é a razão pela qual escolheu-se analisar a influência dos seguintes parâmetros físicos na resposta termo-energética de uma edificação:

- Localização geográfica: indica qual a insolação que a edificação receberá ao longo de um determinado período do ano, além de caracterizar o clima ao qual a construção estará submetida.
- Orientação do norte da edificação em relação ao norte verdadeiro: visto que as janelas normalmente constituem-se como únicas interfaces que permitem transmissão da radiação solar ao interior da edificação, este parâmetro determina uma maior ou menor exposição diária das janelas à radiação solar.
- Tipo de vidro utilizado na fachada: vidros com propriedades radiativas diferentes transmitem, refletem e absorvem radiação solar de maneiras bastante distintas. As películas, quando aplicadas aos vidros, alteram sensivelmente estas propriedades radiantes, o que modifica o comportamento termo-luminoso dos vidros.
- Área da fachada envidraçada: observando as edificações comerciais dos grandes centros urbanos brasileiros, se constata que há uma certa tendência em utilizar fachadas com grande área envidraçada. Porém, devido à semitransparência dos vidros, quanto maior a área envidraçada, maior será a transmissão de radiação solar através dos vidros, o que resulta no aumento do custo de instalação do sistema de condicionamento de ar.

Assim, utilizando o *software EnergyPlus*, um programa de análise energética e de simulação de carga térmica de construções, e manipulando neste os parâmetros descritos acima, este trabalho apresenta alguns resultados obtidos para a cidade do Rio de Janeiro. É estudado um prédio tipicamente comercial com condicionamento de ar do tipo expansão direta, e obtém-se como resultados gráficos da potência de refrigeração instalada e consumo elétrico diário médio dos condicionadores de ar.

2. Modelamento

2.1. Localização geográfica

Os dados referentes à localização geográfica são importantes, particularmente a latitude e a longitude, pois o *EnergyPlus* simula a posição solar em função destes dados.

Sendo o Rio de Janeiro a cidade simulada, são entrados os dados de localização geográfica constantes na Tab. 1, localizada abaixo (Ashrae, 2001).

Tabela 1. Dados de localização geográfica do Rio de Janeiro (Ashrae, 2001).

Latitude (N+ / S-)	-22,82°
Longitude (L+ / O-)	-43,25°
Zona horária relativa ao GMT	-3 hs
Altitude	6 m

São ainda inseridas as temperaturas de solo médias ao longo do ano para o Rio de Janeiro, que são aproximadas como sendo as temperaturas de bulbo seco médias, mostradas na Tab. 2.

Tabela 2. Temperaturas de bulbo seco médias ao longo do ano para o Rio de Janeiro (Goulart, 1997).

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
T [°C]	26,2	26,5	25,9	24,0	22,2	21,2
Mês	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
T [°C]	20,4	21,3	22,2	23,0	24,0	25,4

2.2. Dias de projeto

São simulados dias de projeto de acordo com a ASHRAE. Para garantir que o condicionamento de ar tenha rendimento satisfatório, trabalha-se com 1% de frequência cumulativa anual para o verão e 99% para o inverno.

Para inverno, escolheu-se o dia 21 de julho. Já para o verão escolheu-se trabalhar com um dia de cada um dos quatro meses de verão: 21 de dezembro, 21 de janeiro, 21 de fevereiro e 21 de março. Os dados de dias de projeto de verão são rigorosamente iguais, porém as datas determinam posições solares diferentes, de modo que, por exemplo, em Porto Alegre, no mês de março a radiação solar incide nas janelas com uma inclinação menor (em relação ao horizonte) que em dezembro.

2.3. Orientação do norte da edificação em relação ao norte verdadeiro

São simuladas oito orientações distintas para cada edificação, rotacionando-as com um incremento de 45° no sentido horário. Dessa forma, tem-se as seguintes orientações “ α ”, do norte da edificação em relação ao norte verdadeiro: 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270° e 315°. A referência da orientação norte da edificação reside na disposição das janelas: para a configuração em que esta orientação é solidária ao norte verdadeiro há janelas apenas nas fachadas norte e oeste. As orientações simuladas são mostradas na Fig. 1 abaixo (em vista superior), onde as linhas em negrito representam as paredes que possuem janelas, a seta maior “N” rindica o norte verdadeiro e a seta menor o norte da edificação.

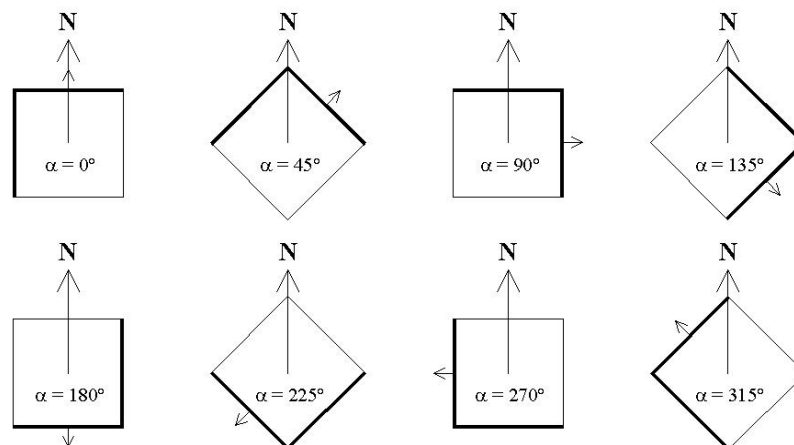


Figura 1. Vista superior da representação da edificação, mostrando as orientações simuladas.

2.4. Edificação

O prédio possui quatro zonas térmicas definidas em dois andares (duas por andar), o que define quatro sistemas de condicionamento de ar independentes, do tipo expansão direta. Possui comprimento e largura de 17,6m, e pé direito de 3,35m, resultando em uma área de planta baixa de 310m² por andar e volume total de 2.075m³, e tem ocupação total de 60 pessoas (15 por zona).

As luminárias têm uma potência total de 12.100W (3025W em cada zona) e o restante dos equipamentos elétricos têm uma potência total de 6.000W (1.500W em cada zona). A temperatura interna programada para verão é de 24,5°C e 21°C para inverno.

A vazão de ar de infiltração de projeto é de 154,8m³/h por zona. Há condicionamento de ar com vazão de insuflamento de 5.400m³/h por zona e cada um dos quatro evaporadores possui potência nominal de 35.170W (10TR), pois o *software* exige uma potência inicial estimada para a simulação. A renovação de ar por zona, normalizada (Anvisa, 1998), é de 405m³/h, ou seja, 7,5L/s por pessoa.

São utilizadas três configurações diferentes de área envidraçada: janelas cobrindo 1/3; 2/3 ou 3/3 da área da parede, mostradas na Fig. 2, onde pode-se observar também as 4 zonas térmicas da edificação.

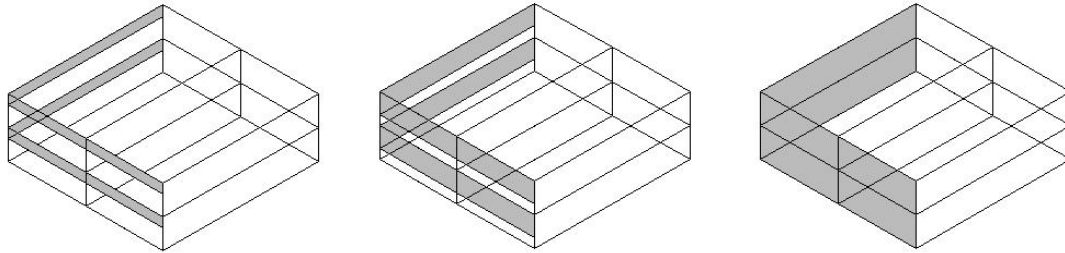


Figura 2. Configurações de área envidraçada simuladas: prédio 1/3 (esquerda); prédio 2/3 (centro) e prédio 3/3 (direita).

2.5. Vidros e películas

As seguintes hipóteses são assumidas para os vidros (*EnergyPlus* Manual, 2002):

- São finos o suficiente para que o calor armazenado neles possa ser desprezado (não há termos capacitivos nas equações de balanço de energia).
- O fluxo de calor é perpendicular à face dos vidros e é unidimensional.
- São opacos para a radiação infra-vermelha.
- Suas faces são isotérmicas (pois a condutividade térmica é alta).

As seguintes propriedades físicas e radiativas devem ser entradas no *EnergyPlus*:

E ⇒ Espessura do vidro [m].

τ_s ⇒ **Transmitância solar na incidência normal:** Dependente da transmitância espectral direcional e da irradiância espectral direta em toda a faixa do espectro solar, de acordo com a Eq. 1 abaixo.

$$\tau_s = \frac{\int_0^{\infty} \tau(\lambda) I_D(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} I_D(\lambda) d\lambda} \quad (1)$$

ρ_{fs} e ρ_{bs} ⇒ **Refletância solar na incidência normal, respectivamente na face externa e na face interna do vidro:** Dependente da refletância espectral direcional da amostra de vidro, da refletância espectral direcional do espelho (referência) e da irradiância espectral direta em toda a faixa do espectro solar, de acordo com a Eq. 2 abaixo.

$$\rho_s = \frac{\int_0^{\infty} \rho_a(\lambda) I_D(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} \rho_e(\lambda) I_D(\lambda) d\lambda} \quad (2)$$

τ_v ⇒ **Transmitância visível na incidência normal:** Dependente da eficiência luminosa fotópica (ou resposta ótica do olho humano), da transmitância espectral direcional e da irradiância espectral direta na faixa visível do espectro solar, de acordo com a Eq. 3 abaixo.

$$\tau_v = \frac{\int_{0,38\mu m}^{0,78\mu m} P_h(\lambda) \tau(\lambda) I_D(\lambda) d\lambda}{\int_{0,38\mu m}^{0,78\mu m} P_h(\lambda) I_D(\lambda) d\lambda} \quad (3)$$

ρ_{fv} e ρ_{bv} \Rightarrow **Refletância visível na incidência normal, respectivamente na face externa e na face interna do vidro**: Dependente da eficiência luminosa fotópica, da refletância espectral direcional da amostra de vidro, da refletância espectral direcional do espelho (referência) e da irradiância espectral direta na faixa visível do espectro solar, de acordo com a Eq. 4 abaixo.

$$\rho_v = \frac{\int_{0,38\mu m}^{0,78\mu m} P_h(\lambda) \rho_a(\lambda) I_D(\lambda) d\lambda}{\int_{0,38\mu m}^{0,78\mu m} P_h(\lambda) \rho_e(\lambda) I_D(\lambda) d\lambda} \quad (4)$$

τ_{ir} \Rightarrow **Transmitância no infra-vermelho na incidência normal**: Dependente da transmitância espectral direcional e da irradiância espectral direta na faixa infra-vermelha de onda longa do espectro solar, de acordo com a Eq. 5 abaixo.

$$\tau_s = \frac{\int_{0,78\mu m}^{\infty} \tau(\lambda) I_D(\lambda) d\lambda}{\int_{0,78\mu m}^{\infty} I_D(\lambda) d\lambda} \quad (5)$$

ε_{f-ir} e ε_{b-ir} \Rightarrow **Emissividade hemisférica difusa no infra-vermelho, respectivamente na face externa e na face interna do vidro**: Levando em consideração a lei de Kirchhoff, tem-se que essa propriedade é dependente da absorptância espectral direcional e da irradiância espectral direta na faixa infra-vermelha de onda longa do espectro solar, de acordo com a Eq. 6 abaixo.

$$\varepsilon_{ir} = \frac{\int_{0,78\mu m}^{\infty} \alpha(\lambda) I_D(\lambda) d\lambda}{\int_{0,78\mu m}^{\infty} I_D(\lambda) d\lambda} \quad (6)$$

K \Rightarrow **Condutividade térmica do vidro [W/m.K]**.

As propriedades radiativas utilizadas foram obtidas da biblioteca de vidros do programa de simulação de janelas *WINDOW 5*, visto que o *EnergyPlus* utiliza esta mesma biblioteca. Buscou-se trabalhar com amostras de vidros e películas tipicamente encontrados no Brasil, escolhendo-se um tipo de vidro comum e quatro tipos de vidros comuns com películas também com 0,003 m, todos com 0,003 m de espessura nominal:

- V1 \Rightarrow Vidro simples.
- V2 \Rightarrow Vidro simples + Película 1.
- V3 \Rightarrow Vidro simples + Película 2.
- V4 \Rightarrow Vidro simples + Película 3.
- V5 \Rightarrow Vidro simples + Película 4.

Na Tabela 3 abaixo estão relacionadas as propriedades físicas e radiativas desses vidros.

Tabela 3. Propriedades físicas e radiativas dos vidros utilizados.

Vidro	V1	V2	V3	V4	V5
E [m]	0,002972	0,003023	0,003023	0,003010	0,003035
τ_s	0,8425	0,1539	0,1234	0,4239	0,08546
ρ_{fs}	0,07453	0,5468	0,6296	0,2814	0,5881
ρ_{bs}	0,07478	0,6191	0,6299	0,2675	0,2832
τ_v	0,9033	0,2206	0,1656	0,5304	0,1187
ρ_{fv}	0,08068	0,4239	0,6068	0,2366	0,4615
ρ_{bv}	0,08072	0,4891	0,5819	0,2192	0,2075
τ_{ir}	0	0	0	0	0
ε_f	0,8379	0,84	0,84	0,84	0,84
ε_b	0,8379	0,33	0,7	0,77	0,82
K [W/m.K]	0,9	0,9415	0,9415	0,9553	0,9277

3. Resultados

Os resultados gráficos são discretos, visto que apenas 8 orientações foram simuladas para cada tipo de vidro. Nas Figs. 3; 4 e 5 abaixo, são mostrados gráficos da potência de refrigeração de pico (soma das potências de pico de cada zona) em função da orientação da edificação e do tipo de vidro utilizado, respectivamente para os prédios 1/3; 2/3 e 3/3.

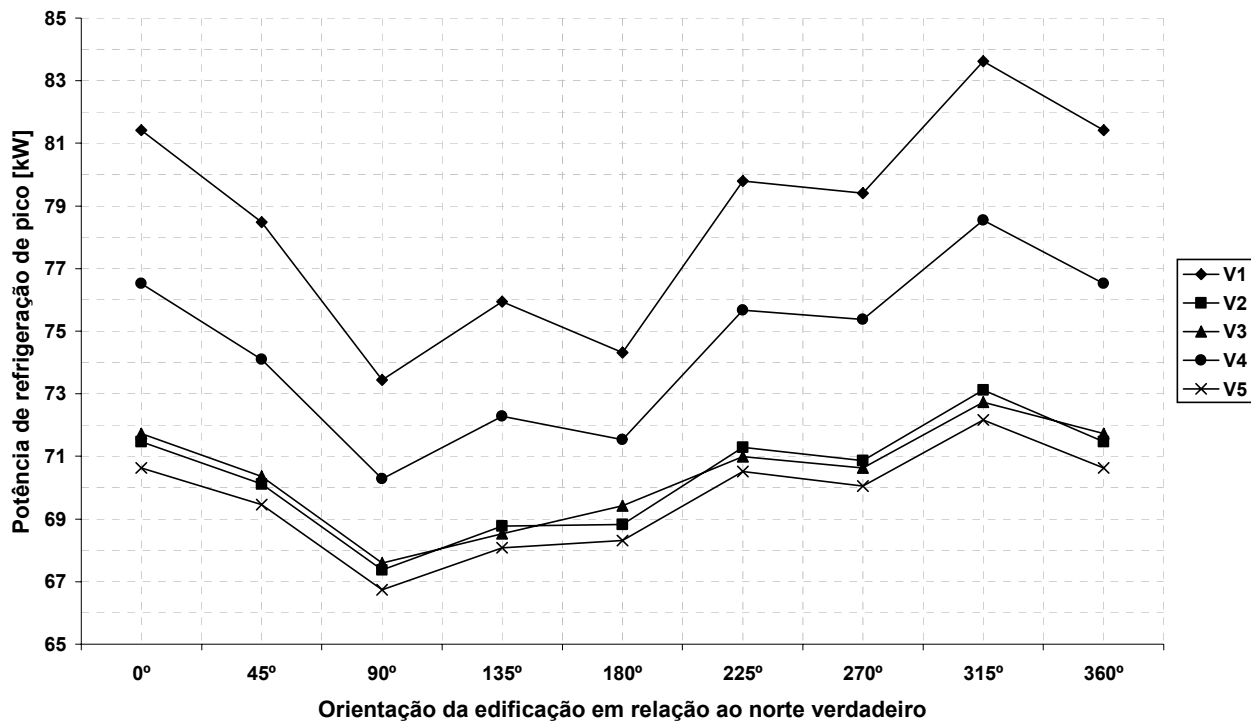


Figura 3. Potência de refrigeração de pico para o prédio 1/3.

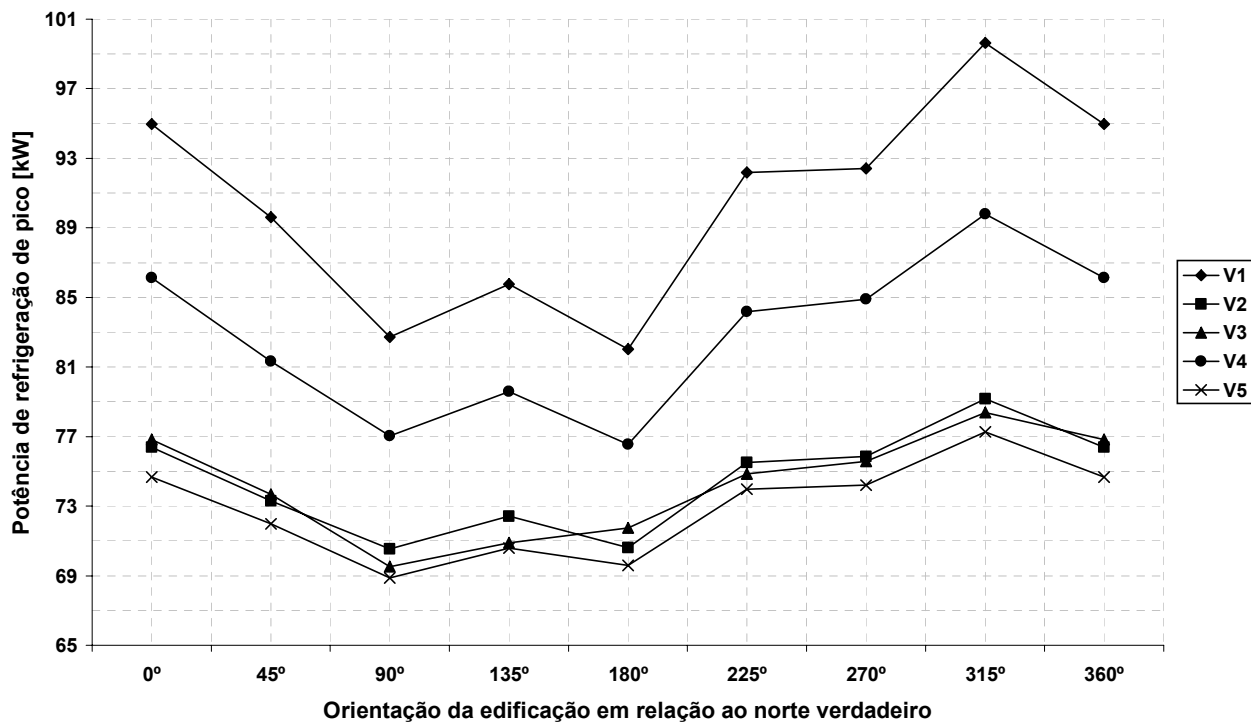


Figura 4. Potência de refrigeração de pico para o prédio 2/3.

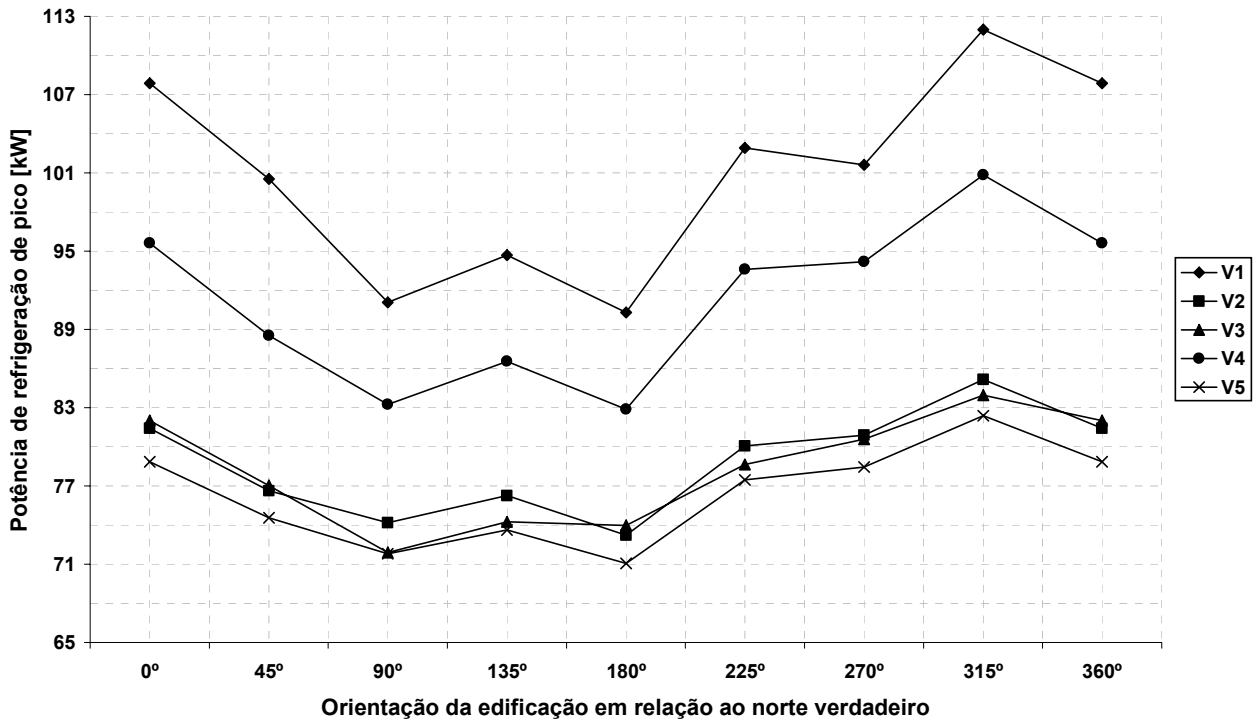


Figura 5. Potência de refrigeração de pico para o prédio 3/3.

Nas Figs. 6; 7 e 8 abaixo, são mostrados gráficos do consumo elétrico diário médio de refrigeração (média dos consumos dos 4 dias típicos de verão simulados) em função da orientação da edificação e do tipo de vidro utilizado, respectivamente para os prédios 1/3; 2/3 e 3/3. Como o consumo elétrico é função de um período de tempo, deve-se preferencialmente utilizar um arquivo climático para este cálculo. Como foram utilizados dias de projeto, os resultados representam, aproximadamente, o dia do ano no qual há o maior consumo elétrico.

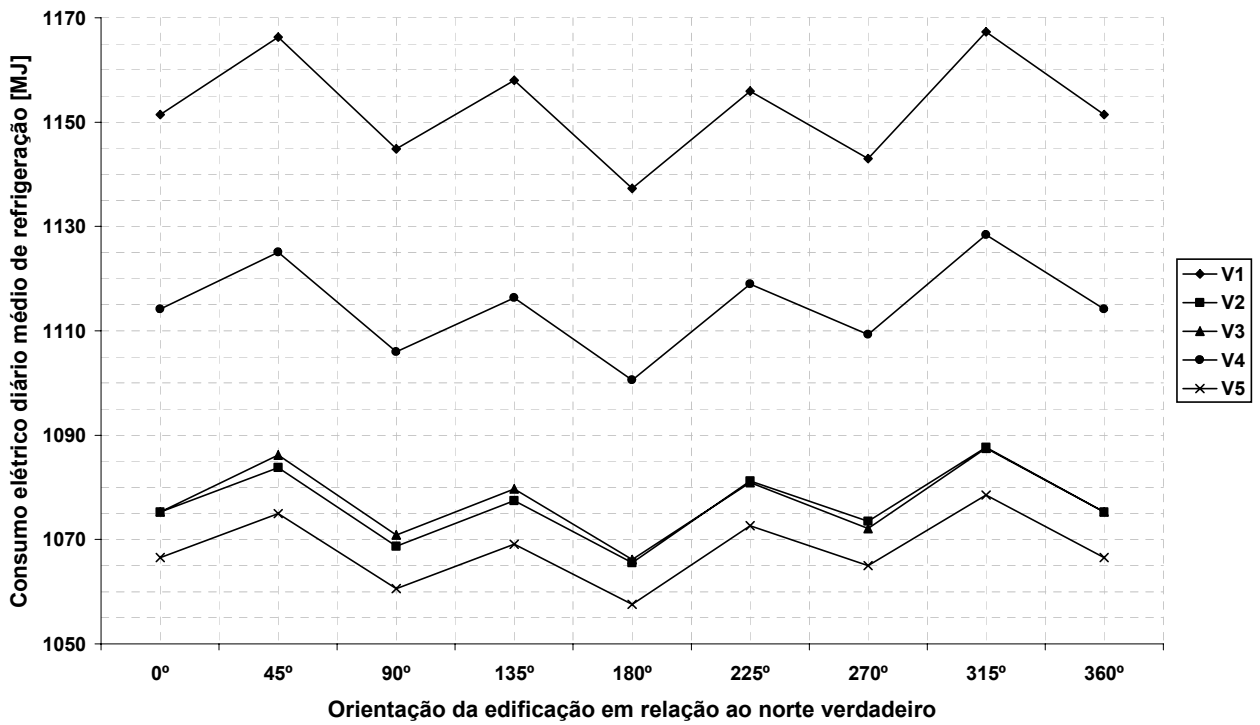


Figura 6. Consumo elétrico diário médio de refrigeração para o prédio 1/3.

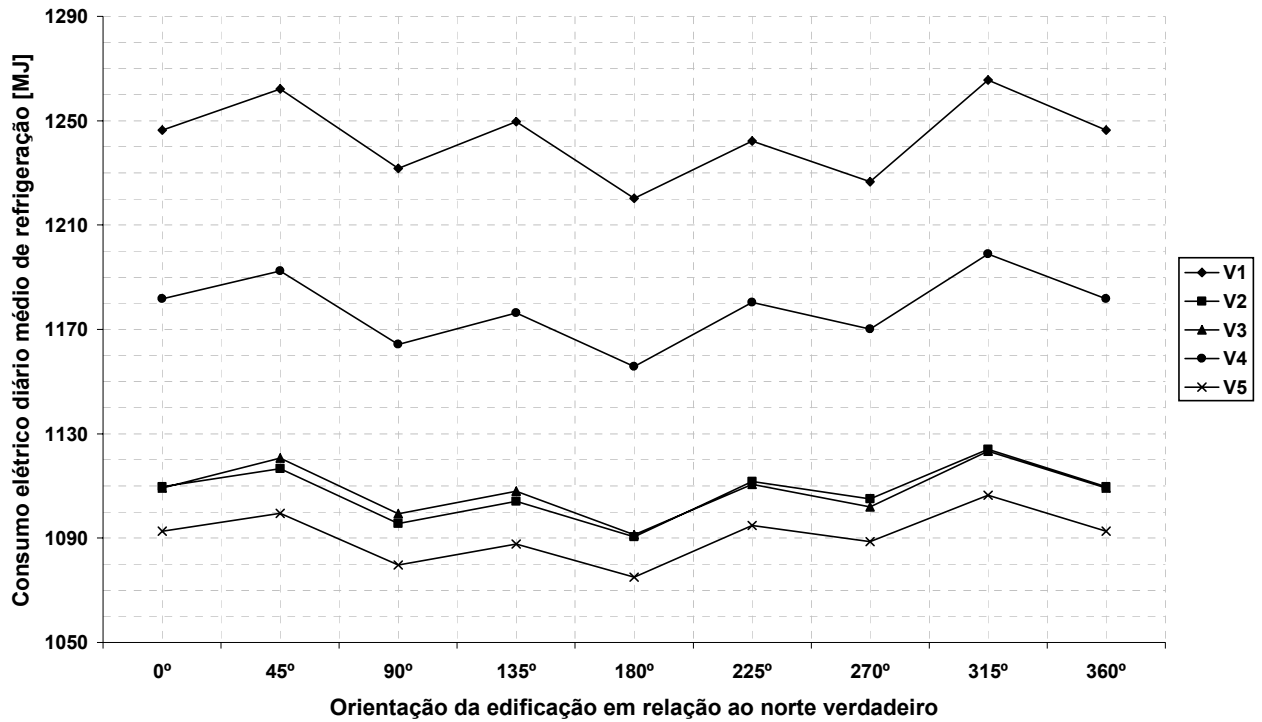


Figura 7. Consumo elétrico diário médio de refrigeração para o prédio 2/3.

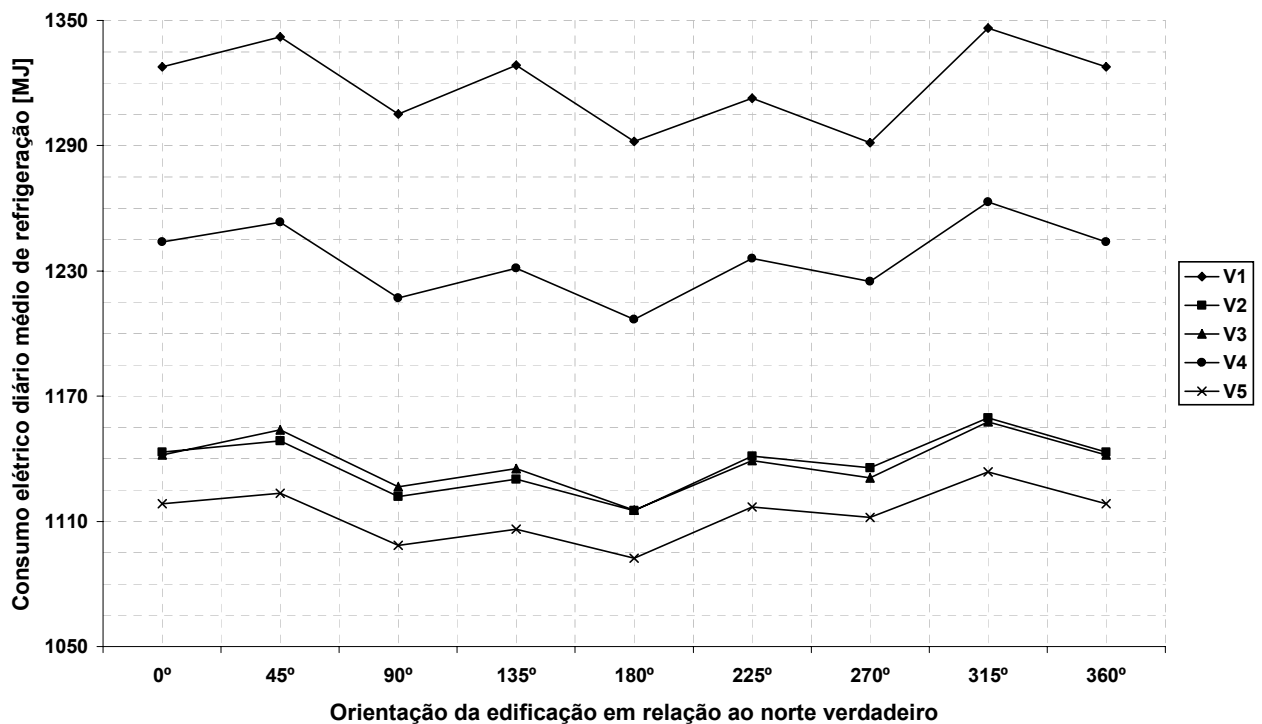


Figura 8. Consumo elétrico diário médio de refrigeração para o prédio 3/3.

Nas Figs. 9; 10 e 11 abaixo, são mostrados gráficos da capacidade nominal (potência comercial necessária) em função da orientação da edificação e do tipo de vidro utilizado, respectivamente para os prédios 1/3; 2/3 e 3/3. Estes gráficos nada mais são do que a adaptação dos gráficos mostrados nas Figs. 3; 4 e 5 para as potências comerciais disponíveis, que são, em toneladas de refrigeração (TR): 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 7,5; 10; 12,5; 15; 20; 25 e 30. Estes gráficos não levaram em conta a intercambialidade possível entre estas diferentes potências. Um exemplo: considere-se uma potência de refrigeração de pico de 22.500 W, equivalente a 6,4 TR. Caso fosse escolhido um equipamento considerando apenas as potências comerciais disponíveis, escolher-se-ia um de 7,5 TR, porém pode-se também tomar um com potência de 5 TR e outro de 1,5 TR, totalizando assim 6,5 TR, obtendo-se uma economia de 1 TR na potência instalada sem,

no entanto, subdimensionar o sistema. Entretanto, isso geralmente não ocorre na prática, pois equipamentos de diferentes características podem não ser compatíveis, além do custo de manutenção de duas unidades inviabilizar, em relação a apenas uma unidade, o investimento em longo prazo.

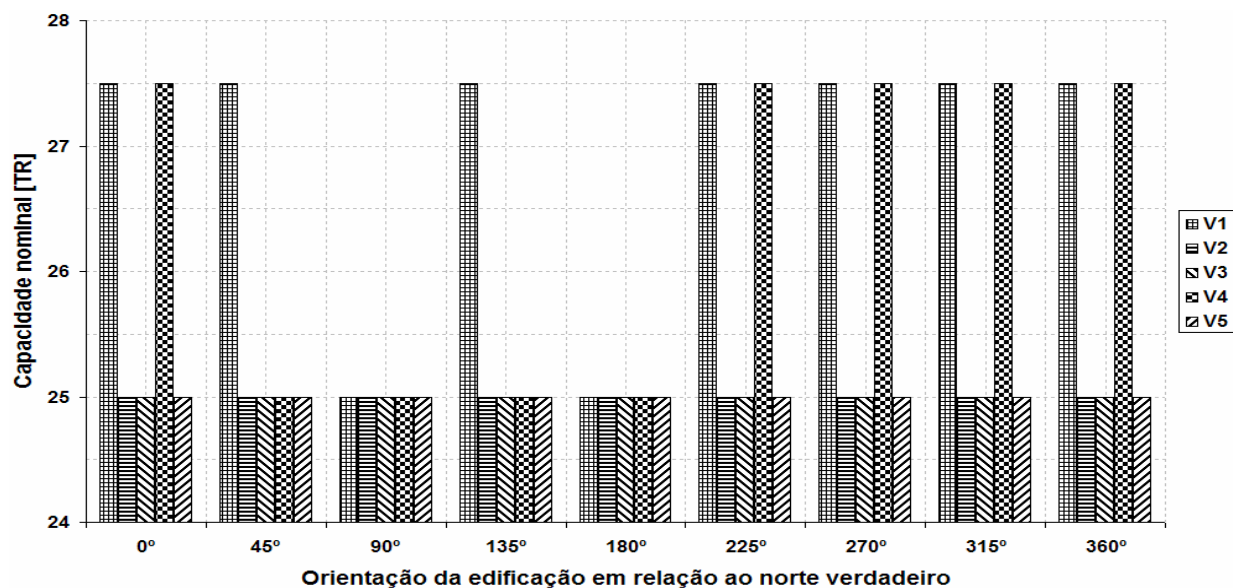


Figura 9. Capacidade nominal para o prédio 1/3.

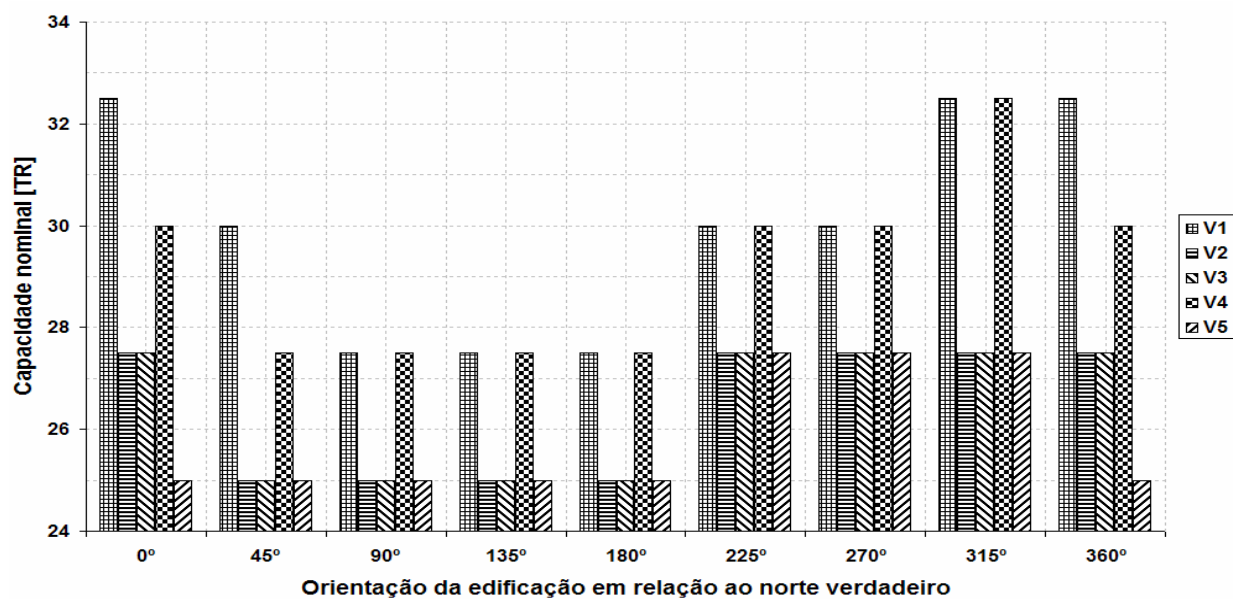


Figura 10. Capacidade nominal para o prédio 2/3.

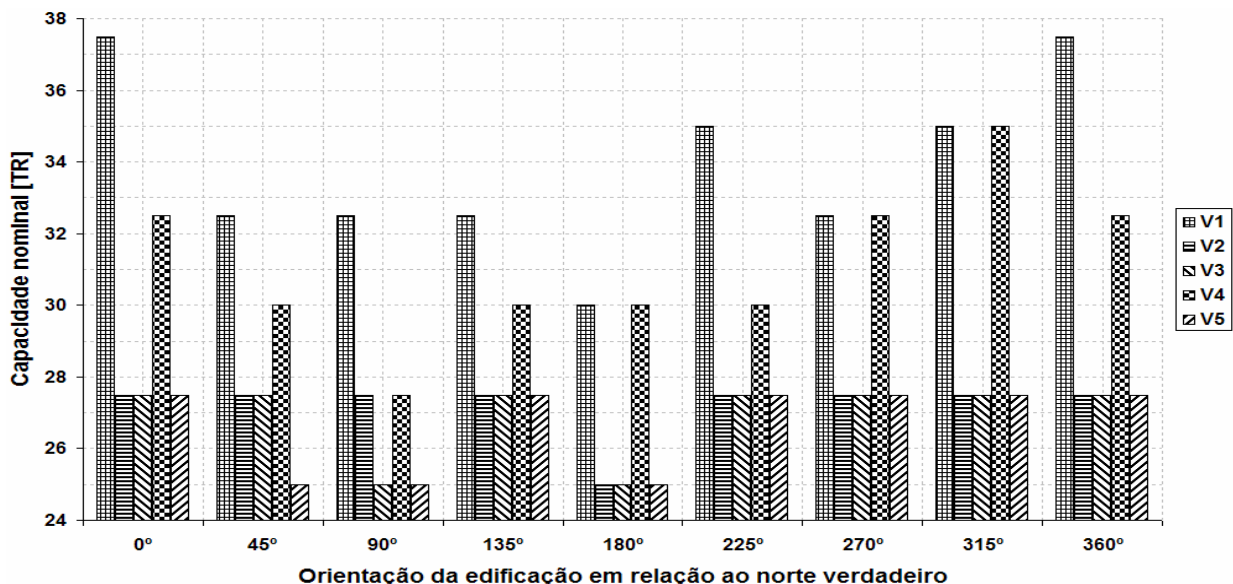


Figura 11. Capacidade nominal para o prédio 3/3.

Na Tab. 3 abaixo aparecem as potências de pico e os consumos elétricos diários, ambos de aquecimento. São mostradas as faixas desses valores, pois os resultados tiveram pouca variação com a orientação.

Tabela 3. Aquecimento para o prédio: potências de pico e consumos elétricos diários.

Prédio	Potência de pico [KW]	Consumo elétrico diário [MJ]
1/3	13,16 – 13,64	156,72 – 156,73
2/3	13,69 – 14,53	156,73 – 156,75
3/3	14,20 – 15,35	156,75 – 156,78

4. Conclusões

Foram feitas simulações avaliando a influência dos seguintes parâmetros físicos no desempenho térmico de uma edificação tipicamente comercial: localização geográfica, orientação do norte da edificação em relação ao norte verdadeiro, tipo de vidro utilizado na fachada, e área da fachada envidraçada:

Para o verão, os resultados mostram que a orientação da edificação é mais influente no custo de instalação do sistema de condicionamento de ar (capacidade nominal), o que já não ocorre significativamente no custo operacional (consumo elétrico). Já o tipo de vidro utilizado na fachada e a área de fachada envidraçada possuem influência significativa tanto no custo de instalação quanto no custo operacional.

Para o inverno, em relação aos parâmetros avaliados, não são observadas influências significativas nos custos de instalação e operacional. Pode-se observar que para esta estação obteve-se potências de pico bastante baixas, pois a cidade simulada (Rio de Janeiro) não possui uma estação tipicamente fria.

É interessante observar que se por um lado, no verão, a aplicação de película nos vidros influencia significativamente na redução da potência instalada necessária e no consumo elétrico, o contrário acontece no inverno. Isto ocorre porque a película bloqueia a transmissão de radiação solar, independentemente das condições climáticas locais, o que só é desejável no verão.

Finalmente, a viabilidade econômica da aplicação de um tipo de película nos vidros depende da economia obtida, para cada orientação, em relação aos custos de instalação, que é um investimento de curto prazo, e operacional (investimento de longo prazo).

5. Sugestões de continuidade

Como continuidade deste trabalho, sugere-se acoplar uma análise da iluminação no interior da edificação, pois o uso de películas escuras diminui significativamente a taxa de iluminação natural no interior da edificação, o que significa aumentar a iluminação artificial e consequentemente aumentar a carga térmica.

Seria interessante também um estudo de viabilidade econômica mais detalhado, onde fossem confrontados os custos inerentes à instalação do sistema de condicionamento de ar, obtendo resultados que determinassem as soluções mais viáveis dentro de um período de tempo pré-determinado.

Outra sugestão é a de buscar desenvolver arquivos climáticos de cidades brasileiras, utilizando-os para obter melhores estimativas, ao longo de um período de tempo, do consumo elétrico do sistema de condicionamento de ar.

6. Agradecimentos

Agradecemos à CAPES pelo financiamento do projeto e ao PhD Eng^o Francis H. R. França e Dr. Eng^o Elton G. Rossini pelas valiosas informações e discussões.

7. Referências

- Anvisa - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução 176 da Portaria nº 3.523, de 28 de agosto de 1.998.
- Ashrae Handbook of Fundamentals, 2001. Chapter 27 – Climatic Design Information, ASHRAE Publications, USA, pp. 27.28 - 27.29.
- EnergyPlus Manual, 2002. Engineering Document, Version 1.0.3, The Board of Trustees of the University of Illinois and the Regents of the University of California, USA, pp. 100-101.
- Goulart, S. V. G., Lamberts, R., Firmino, S., 1997. “Dados Climáticos para Projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras”, Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, Florianópolis, pp. 76.
- Winkelmann, F. C., 2001. “Modeling Windows in EnergyPlus”, Seventh International IBPSA Conference, August 13-15, Rio de Janeiro, pp. 457.

THERMO-ENERGETIC INFLUENCE EVALUATION OF PHYSICAL PARAMETERS IN A BUILDING WITH AIR CONDITIONING SYSTEM

Fábyo Luiz Pereira

Rio Grande do Sul Federal University - Department of Mechanical Engineering - Laboratory of Steam and Refrigeration
fluizp@yahoo.com

Paulo Otto Beyer

Rio Grande do Sul Federal University - Department of Mechanical Engineering - Laboratory of Steam and Refrigeration
pob@mecanica.ufrgs.br

Alexandre Otto Schwieder

Rio Grande do Sul Federal University - Department of Mechanical Engineering - Laboratory of Steam and Refrigeration
otto@ufrgs.br

***Abstract:** The actual work presents a study about the influence that some physical parameters have, in thermal terms, over a building with a direct expansion cooling system. For that was utilized the EnergyPlus energetic simulator, where are changed only the following physical parameters: geographic location, glass kind and area utilized on the facade and the edification north axis orientation relative to true north axis. In the simulations are used the summer and winter design day data according ASHRAE. Are obtained as results graphics of installed cooling power and mean electric consumption of air conditioners, which shows that as much the orientation how much the glass kind utilized in edification significantly changes the necessary installed power for thermal comfort obtainment. This document makes part of a mutual project between the Mechanical Engineer Department and the Physics Institute from Rio Grande do Sul Federal University, and aim to originate an interactive CD-ROM addressed to civil construction professionals, where will be in these results for 20 brazilian cities, what will help on the search for solutions that increase the energetic efficiency of brazilian constructions.*

Keywords: EnergyPlus, simulation, thermal power, electric consumption, glass/film.