



XIENCAC
ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

VII ELACAC
ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

Búzios - RJ - 2011

VENTILAÇÃO MEDIANTE UMA CHAMINÉ SOLAR EM AMBIENTE LOCALIZADO EM CLIMA QUENTE, ÚMIDO E SEM VENTO

Alejandro Naranjo (1); Roberto Lamberts (2); Rogerio Versage (3)

(1) Arquiteto, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Arq. e Urb, alejonaranjo83@hotmail.com

(2) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil, lamberts@labeee.ufsc.br

(3) Arquiteto, Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, rogerio@labeee.ufsc.br
Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Caixa Postal 476, Florianópolis - SC, 88040-900, Tel.: (48) 3721-5184

RESUMO

Obter espaços arquitetônicos que permitam aos seus habitantes atingir níveis aceitáveis de conforto térmico em climas quentes úmidos e sem vento, tem sido um desafio de difícil solução. Este estudo avalia o potencial de uma chaminé solar para contribuir com a solução deste problema. Foram realizadas simulações paramétricas no programa Energyplus, mudando três variáveis de uma chaminé ligada a um ambiente localizado em São Luis/MA. Com o intuito de conhecer o efeito da ventilação pela diferença de temperatura foram anulados os valores de direção e velocidade de vento no arquivo climático utilizado. Nos resultados notou-se que o aumento na altura da chaminé e na área das aberturas de entrada e de saída do ar diminui os graus hora de refrigeração e os valores de temperatura operativa, ao mesmo tempo que aumenta as trocas de ar por hora e as perdas de calor. Embora uma chaminé melhore o desempenho térmico de um ambiente, ela é insuficiente para proporcionar conforto térmico nas condições climáticas estudadas. No entanto sugere-se estudar o efeito dos coletores solares em tetos e paredes, por causa do potencial que têm para coletar maior quantidade de energia solar e, portanto potencializar o movimento do ar pela diferença de temperaturas.

Palavras chave: Chaminé solar, desempenho térmico, ventilação, simulações paramétricas.

ABSTRACT

Creating architectural spaces located in warm and humid climate's without wind, in which its users could experience thermal comfort, have been a difficult challenge to solve. This paper assesses the potential impact of a solar chimney to contribute in the solution of this problem. In order to do this, were carried parametric simulations using the "Energyplus" simulation software, changing three variables of a chimney connected to a space located in São Luis/MA (Brazil). To determine the effect of the buoyancy ventilation, wind direction and velocity values were canceled from the climatic file used for it. It was found that an increase in stack height and area of the inlet and outlet, decreases the cooling degree-hours and operative temperature values, and simultaneously the air changes per hour and the heat losses are increased. Although a solar chimney could improve the thermal performance of an enclosure, it is not enough to provide thermal comfort under the climatic conditions studied. However it is suggested to study the effect of solar collector's on roofs and walls, because of the potential they have to collect a larger amount of solar energy and therefore, enhance the air movement by the temperature difference.

Keywords: Solar chimney, thermal performance, ventilation, parametric simulations.

1. INTRODUÇÃO

As condições de um clima quente e úmido fazem com que as pessoas tenham dificuldades para perder o calor gerado pelo metabolismo, causando sensações de desconforto térmico. Uma das estratégias utilizadas para compensar os efeitos adversos desses climas é o vento, que permite resfriar o corpo humano pela convecção e transpiração do suor, além de resfriar o espaço construído mediante a renovação das massas de ar com temperaturas mais baixas.

No entanto existem alguns lugares com clima quente e úmido nos quais não se tem disponibilidade suficiente de vento para compensar os efeitos adversos do clima, sendo necessário procurar outras formas de ventilar os espaços ou simplesmente suportar essas condições. Como a ventilação pode ser gerada não somente pela força do vento, mas também pela diferença de temperaturas (ALLARD, 1998), é necessário explorar os alcances desta última para resolver as necessidades de higiene e conforto no ambiente construído. No entanto, devido as diferenças de temperatura entre o interior e o exterior dos espaços localizados em um clima quente e úmido serem muito baixas, a efetividade da ventilação mediante essa força é muito limitada nessas condições (LIU et al, 2009).

Entre os diversos mecanismos de resfriamento passivo existem alguns que utilizam o aquecimento solar para aumentar as diferenças entre a temperatura do ar interna e externa de ambientes. Eles são conhecidos como coletores solares e podem ser utilizados em tetos, paredes e chaminés (SANTAMOURIS e WOUTERS, 2006). Várias pesquisas relativas ao tema têm apresentado a importância de estudar em detalhe as relações entre as dimensões dos componentes destes sistemas para serem usados nas condições climáticas quentes e úmidas. Bassiouny e Koura (2008) encontraram que aumentar a largura da chaminé tem um efeito mais significativo do que aumentar a abertura de entrada de ar; sendo que quando a largura é aumentada três vezes as trocas de ar por hora aumentam em 25%, enquanto que quando a abertura de entrada é aumentada três vezes as trocas de ar por hora aumentam 11%. Wardah et al.(2010) combinaram um coletor solar no teto com uma chaminé para potencializar a ventilação pelo efeito chaminé na Malásia, utilizando modelos experimentais em escala reduzida inseridos em um ambiente real. Foi avaliado o desempenho das estratégias durante os meses de menor quantidade de radiação solar, a fim de assegurar o desempenho no resto dos meses do ano com maior quantidade de radiação. Os resultados mostram que em condições de céu encoberto os dispositivos possuem capacidade de induzir a ventilação pelo efeito chaminé, diminuindo a temperatura interna às 14 horas em 6,2 °C (39,3 °C – 33,1 °C), podendo se conseguir reduções de até 8,5 °C em condições de céu semi-aberto as 13 horas. Chungloo e Limmeechokchai (2007) estudaram o efeito combinado de uma chaminé solar com a irrigação de água no teto na Tailândia, obtendo uma redução da temperatura no interior de 6,2 °C na máxima em relação aos 40 °C do exterior. A chaminé sozinha conseguiu diminuir em até 3,5 °C a temperatura do interior. He et al.(2001) avaliaram uma residência na cidade de Nanning - China de clima quente e úmido que tinha um coletor solar de teto em combinação com uma chaminé, podendo remover parte do calor do espaço mediante a ventilação da envolvente. Eles determinaram que o melhor desempenho térmico atingia-se quando as janelas ficavam fechadas do dia e abertas de noite.

O presente estudo pretende avaliar o desempenho de uma chaminé solar em um clima quente e úmido, dada a possibilidade que ela tem para ventilar um ambiente. Procurar por soluções para ventilar os espaços nessas condições, pode diminuir o consumo energético dos dispositivos mecânicos de condicionamento de ar e melhorar as condições de vida das pessoas que não têm os recursos suficientes para comprar um desses sistemas ou de aqueles que moram em zonas afastadas onde não é possível contar com um abastecimento elétrico constante e suficiente

2. OBJETIVO

Este artigo tem como objetivo avaliar o comportamento de uma chaminé solar como estratégia para melhorar o desempenho térmico em uma residência localizada em um clima quente úmido e sem vento, utilizando o programa de simulação Energyplus.

3. MÉTODO

3.1. Objeto de simulação

Serão avaliados os efeitos produzidos pela variação de três parâmetros de uma chaminé solar (altura da chaminé, área da abertura de entrada e área da abertura de saída) no desempenho térmico de um espaço e da chaminé que é utilizada para acondicionar passivamente o mesmo. O espaço tem duas janelas voltadas para norte e sul sem proteção solar as quais permanecem fechadas, e no interior tem uma carga térmica de uma pessoa em atividade de escritório equivalente a $65\text{W/m}^2/\text{pessoa}$ (Figura 1). As paredes são de Tijolo maciço de 100mm e reboco de argamassa nos dois lados com uma espessura total do mesmo de 50mm; fazendo que o conjunto tenha uma transmitância de $3,286\text{ W/m}^2\text{K}$. A cobertura é de telha de fibrocimento, forro de madeira e lâmina de alumínio polido, tendo uma transmitância de $1,146\text{ W/m}^2\text{K}$. A chaminé esta voltada para o oeste e compartilha sua face interna com uma parte da parede oeste do espaço. Nesta parte da parede e ao longo da chaminé por cima do espaço são utilizados materiais isolantes a fim de evitar os ganhos de calor no interior do espaço por conta do ar aquecido pela chaminé e armazenar o calor recolhido no coletor, obtendo uma transmitância de $0,153\text{ W/m}^2\text{K}$. O vidro da chaminé tem uma transmitância solar e visível de 0,899 e 0,913 respectivamente, valores maiores dos que tem os vidros utilizados nas janelas do espaço os quais tem valores correspondentes de 0,837 e 0,898. As absortâncias da cobertura, das paredes do espaço e chaminé são de 0,9.

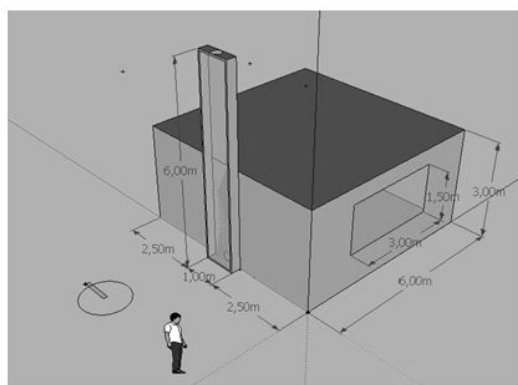


Figura 1. Espaço avaliado

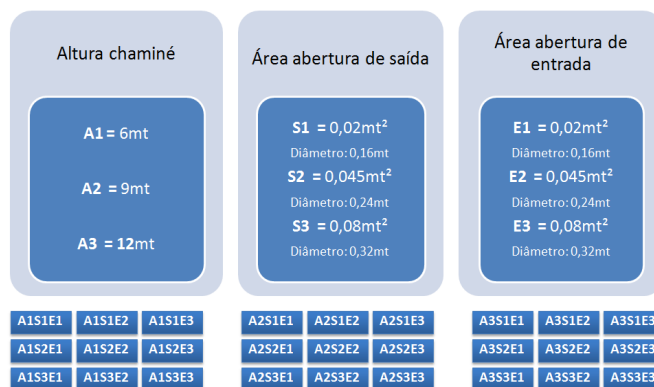


Figura 2. Esquema dos parâmetros a mudar e nomenclatura das simulações

As simulações estão divididas (Figura 2) em três grupos dependendo da altura da chaminé, a qual muda em função do valor da altura do espaço equivalente a 3m. Cada grupo pode se reconhecer pela letra A (Altura 1: 200%; Altura 2: 300%; Altura 3: 400% da altura do espaço; sendo 6m, 9m e 12m respectivamente). Por sua vez tem três tipos de áreas de abertura tanto para a saída como para a entrada, sendo que o diâmetro da abertura esta em função da largura da chaminé equivalente a 0,32m (Diâmetro 1: 50%; diâmetro 2: 75% e diâmetro 3: 100% da largura do canal). As áreas correspondentes a esses diâmetros são Área 1: $0,02\text{m}^2$, área 2: $0,045\text{m}^2$ e área 3: $0,08\text{m}^2$ respectivamente. Dependendo se a abertura é de saída o código vai ser: S1, S2 ou S3 respectivamente; ou se a abertura é de entrada: E1, E2 ou E3 respectivamente. Desta forma a combinação desses parâmetros resulta em 27 simulações às quais podem se reconhecer por um código do tipo a seguir: A#S#E#, permitindo distinguir qual é a altura, a área da abertura de saída e o da entrada desde o nome. Por exemplo, o código A3S1E2 significa que o resultado corresponde a chaminé que tem a altura 3, a área de saída 1 e área de entrada 2.

O arquivo climático selecionado para fazer as simulações corresponde à cidade de São Luis desenvolvido pelo LabEEE (LABEEE, 2010). A análise feita para essa cidade mostra que com a utilização da ventilação, pode se resolver o conforto térmico em 87,2% das horas do ano (LAMBERTS et al, 1997). No entanto, o fenômeno que se quer avaliar no presente trabalho é a ventilação devida à diferença de temperatura para o efeito chaminé, razão pela qual os valores de velocidade e direção do vento foram anulados do arquivo climático. Para fazer isso foi importado o arquivo climático de formato “EPW” no programa Excel para tirar as variáveis do vento. O programa auxiliar fornecido pelo Energyplus chamado “Weather Converter” foi utilizado para identificar as informações correspondentes à velocidade do vento a serem excluídas do arquivo.

3.2. Detalhes da simulação

Para avaliar o desempenho de uma chaminé solar anexada a um ambiente optou-se por utilizar o objeto “ZoneThermalChimney” do grupo “ZoneAirFlow” disponível no Energyplus (Figura 3). Junto com o objeto que permite inserir as variáveis da chaminé, deve se utilizar um objeto para calcular a infiltração da zona.

Para a infiltração foi definida uma schedule de funcionamento de 24 horas para todos os dias do ano, e uma vazão de $0,01\text{m}^3/\text{s}$ equivalente a 0,33 trocas de ar por hora. Nos campos necessários para definir a chaminé foram utilizados os seguintes valores: largura (1m), coeficiente de descarga (0,85) e proporção relativa das taxas de fluxo de ar que passa através da chaminé (1). Os valores de altura e as áreas das aberturas de entrada e saída de ar foram inseridos como foi dito no item anterior. É importante destacar que o Energyplus assume que o ar extraído pela chaminé é renovado pela infiltração do ar exterior no espaço, permitindo então ventilar a zona ocupada. Para fazer os cálculos de graus-hora de refrigeração foi adotada a temperatura base de $26\text{ }^\circ\text{C}$, sendo que qualquer valor acima desse limite vai ser adicionado como graus hora de refrigeração. Uma limitação implícita no modelo adotado pelo Energyplus tem a ver com a localização da abertura de saída da chaminé. Note que essa abertura esta voltada para cima e não lateralmente, o qual é inadequado para um clima úmido no qual se tem presença de chuva ao longo do ano. Essa questão é ignorada no presente trabalho.

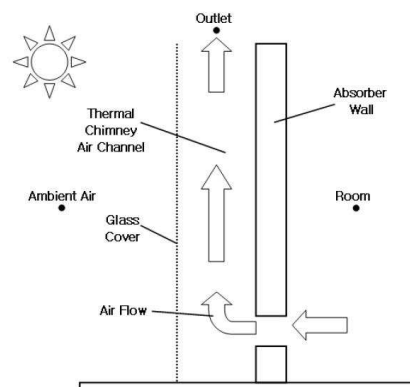


Figura 3. Esquema do modelo “Thermal Chimney” no Energyplus

3.3. Processamento de dados

Para analisar os resultados se fez em primeiro lugar uma comparação entre as nove configurações de cada grupo, permitindo identificar os melhores de cada altura. Depois foi comparada a melhor configuração de cada grupo em relação às outras. Para avaliação foram produzidos os relatórios dos Graus Hora de Refrigeração baseados na Temperatura Operativa, as Trocas de Ar, Perdas de Calor [J] e Ganhos de Calor [J].

4. RESULTADOS

Os resultados a serem apresentados para cada variável vão ser os das melhores configurações de cada um dos três grupos, e só os resultados completos de um dos grupos. Só são apresentados os resultados completos de um grupo porque a tendência entre os três grupos é a mesma. O grupo mostrado corresponde a aquele de menor desempenho, permitindo estabelecer o desempenho mínimo com a altura mínima, o qual seria a chaminé mais fácil de utilizar em uma edificação.

4.1. Graus hora de refrigeração

Conforme a altura e as áreas das aberturas da chaminé aumentam, o desempenho melhora, sendo que os graus hora de refrigeração (GHR) diminuem em 16,6%. O pior desempenho em GHR ocorre quando o espaço não usa chaminé, apresentando um valor de 31.742,02; enquanto que com o uso da chaminé de menor desempenho esse valor desce para 29.905,81 (diferença de 1.836,21 GHR equivalente a uma melhora de 5,8%). A máxima diminuição obtida mediante a chaminé de melhor desempenho é de 26.467,04 (diferença de 5.274,98 graus hora de refrigeração equivalente a uma melhora de 16,6%). Entretanto os valores para o ambiente exterior apresentam 13.300 GHR, obtendo-se uma diminuição 18.442 GHR equivalentes a 58,1% de melhora. A diferença entre a melhora dos GHR da melhor chaminé e os GHR do ambiente é de 13.167 equivalentes a um 42%, o qual permite estabelecer que o ambiente exterior tem um número de GHR 42% menor. Ver: Figuras 4 e 5.

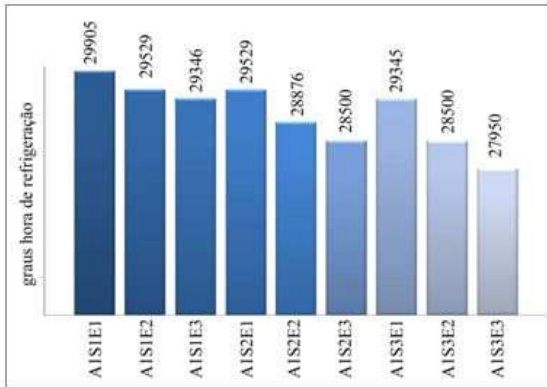


Figura 4. Graus hora de refrigeração
Melhor do grupo A1 – média anual

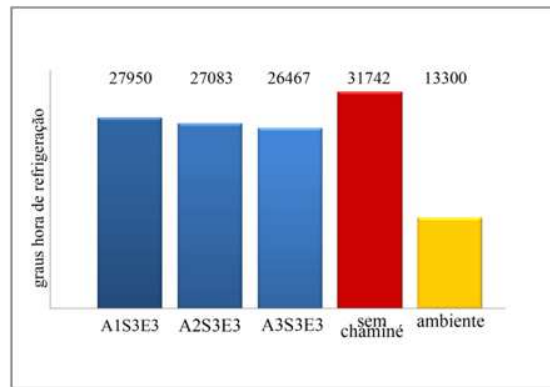


Figura 5. Graus hora de refrigeração.
Melhor de cada grupo – média anual

4.2. Temperatura Operativa

O benefício obtido pelo aumento nas relações de área de abertura e altura na diminuição da Temperatura Operativa varia entre 1,5% e 2,1%. A Temperatura Operativa média anual para uma zona sem chaminé é de 29,60 °C, enquanto que utilizando a chaminé de menor altura com melhor configuração de aberturas a temperatura é 29,15 °C (0,45 °C menos equivalentes a 1,5% de melhora) e com a melhor das chaminés, essa temperatura pode descer até 28,97 °C (0,63 °C menos equivalentes a 2,1% de melhora). Entretanto a temperatura de bulbo seco exterior fica perto de 3 °C abaixo das temperaturas do interior sem chaminé, valor 9,6% menor e 7,5% melhor do que a comportamento atingido com a melhor das chaminés. Ver: Figuras 6 e 7.



Figura 6. Temperatura operativa
Grupo A1 – média anual

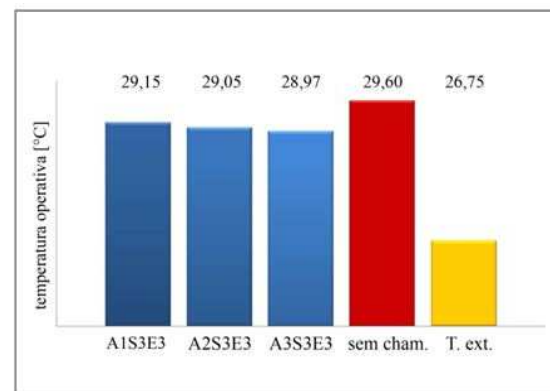


Figura 7. Temperatura operativa (melhor de c/grupo, espaço sem chaminé e temp. bulbo seco exterior) – média anual

4.3. Trocas de ar

Com a chaminé de menor desempenho pode se conseguir 0,61 trocas de ar por hora, enquanto que com a melhor chaminé pode se conseguir até 2,52 trocas de ar por hora. Ver: Figuras 8 e 9.

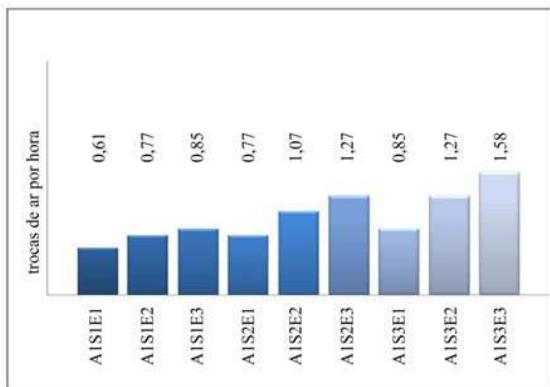


Figura 8. Trocas de ar por hora
Grupo A1 – media anual

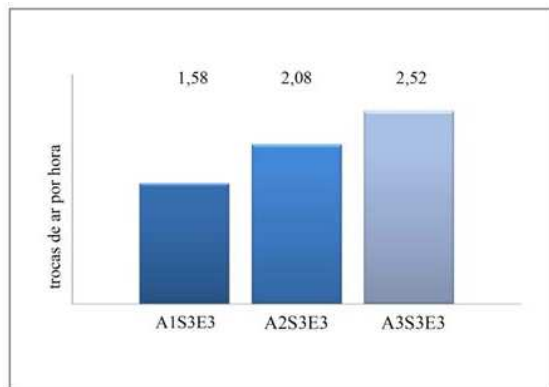


Figura 9. Trocas de ar por hora
Melhor de cada grupo – media anual

4.4. Perdas de calor

Quando as áreas das aberturas são aumentadas, também aumenta a quantidade de calor perdido pela chaminé, podendo contribuir a refrigeração do espaço. Utilizando a altura máxima da chaminé e as maiores áreas de abertura, podem se conseguir perdas de calor até de 623573,01 J, enquanto que com a melhor chaminé da menor altura essas perdas são de 449668,79 J. Ver: Figuras 10 e 11.

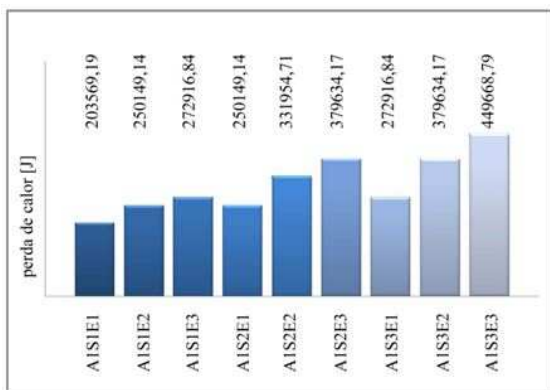


Figura 10. Perda de calor
Grupo A1 – media anual

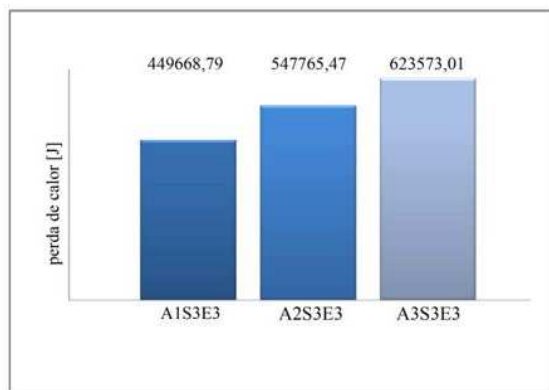


Figura 11. Perda de calor
Melhor de cada grupo – media anual

Porem ao comparar a quantidade máxima de perda de calor pela chaminé com a carga de resfriamento do espaço (30.312.000.000 J) encontra-se que o efeito da chaminé é insignificante. A chaminé diminui essa carga em 0,002% só (Figura 12). Percebe-se que as perdas de calor são maiores durante a noite, devido ao diferencial térmico ao longo do dia em São Luis (Figura 13).

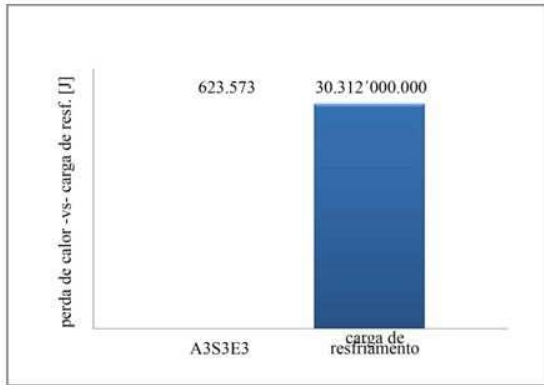


Figura 12. Perda de calor A3S3E3 –vs- carga de resfriamento – media anual

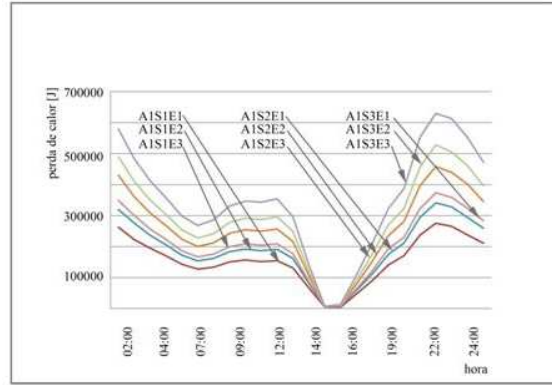


Figura 13. Perda de calor para o grupo A1 no dia mais quente

4.5. Ganhos de calor

Nas horas de maior temperatura (13:00 – 16:00 h), a chaminé começa a ganhar calor ao invés de perder. Com o aumento na altura e relação das aberturas, os ganhos de calor são aumentados. Idealmente deve se oferecer um mecanismo que permita controlar os ganhos nas horas de maior temperatura. Os resultados apresentados correspondem ao dia mais quente. Ver: Figuras 14 e 15.

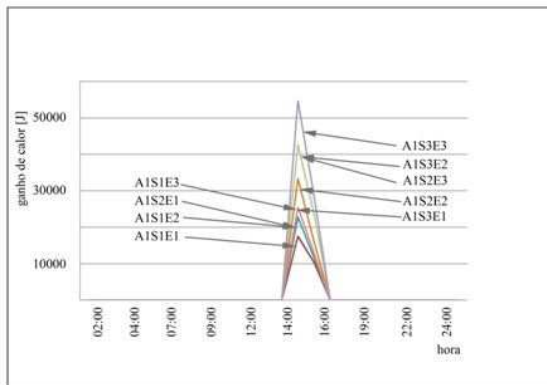


Figura 14. Ganho de calor para o grupo A1 no dia mais quente (11 de Julho)

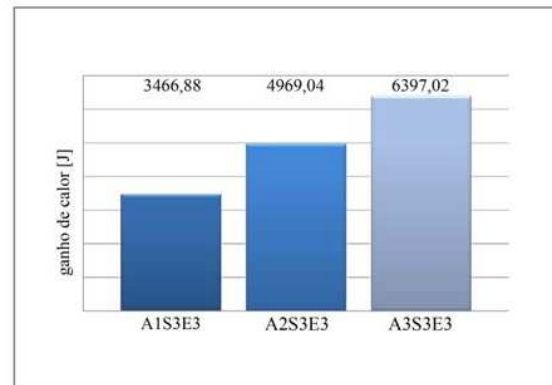


Figura 15. Ganho de calor no melhor de cada grupo A1 no dia mais quente (11 de Julho)

De acordo com o modelo utilizado pelo Energyplus, para todas as variáveis a abertura de saída tem a mesma importância do que o outro da entrada; levando em conta as áreas totais ao invés de sua localização. Nos casos: A#S1E2 e A#S2E1, A#S2E3 e A#S3E2, A#S1E3 e A#S3E1, é indiferente qual é a abertura de área maior.

De modo geral pode se notar que o aumento nas áreas das aberturas e na altura da chaminé melhora o desempenho térmico do espaço ocupado; diminuindo os Graus Hora de Refrigeração e os valores de Temperatura Operativa, ao mesmo tempo em que aumenta as trocas de ar por hora e as perdas de calor na chaminé.

Embora se atinja um melhor desempenho em quase todas as variáveis utilizando áreas de abertura maiores, deve se tomar precaução por que os ganhos de calor aumentam com essa configuração de áreas.

Embora as configurações da altura 3 atinjam os melhores valores, considere-se que alcançar um pé direito de 12m na chaminé é improvável em um caso real para um espaço tão pequeno e simples.

5. CONCLUSÕES

Uma chaminé solar não melhora significativamente o desempenho térmico em uma residência localizada num clima quente, úmido e sem vento, requerendo o uso de equipamentos mecânicos de condicionamento de ar ou pelo menos de ventilação forçada para atingir níveis aceitáveis de conforto térmico.

Se mesmo utilizando uma chaminé solar de grande altura devidamente isolada do interior e com vidros que potencializam a coleta da energia do sol não se conseguem níveis aceitáveis de conforto; o desempenho do efeito chaminé sem a utilização de uma chaminé pode ser muito baixo. Porém para determinar isso com precisão devem-se utilizar modelos de CFD, sendo que o EnergyPlus não permite avaliar esse fenômeno.

Para diminuir os efeitos indesejáveis dos ganhos calor, em consequência do aumento nas áreas das aberturas; poderia se avaliar a conveniência de utilizar dispositivos que controlem a abertura e fechamento das aberturas. Porém o objeto “ThermalChimney” do grupo “ZoneAirFlow” no EnergyPlus não permite controlar a abertura e fechamento das aberturas para avaliar a conveniência de fazer isso.

No caso de ter presença de ventos, o efeito chaminé pode ser revertido e mudar o comportamento térmico do espaço devido ao cancelamento dos fluxos de saída. Porém o objeto “Thermal Chimney” do grupo “ZoneAirFlow” não permite avaliar esse fenômeno pois não leva em conta as pressões de ar nas aberturas.

Há alguns climas quentes e úmidos com piores condições, onde a diferença de temperatura entre o dia e a noite é menor do que o apresentado em São Luis. Devido a isso, o desempenho de uma chaminé solar nessas condições pode ser menor, porque ela diminui a sua capacidade de perder calor nas horas da noite.

Embora o desempenho da chaminé não seja suficiente, não pode se descartar o uso de coletores solares sendo que eles têm o potencial para gerar movimentos do ar em condições quentes e úmidas. O presente estudo avalia só o desempenho de um modelo de chaminé que foi o único disponível no EnergyPlus. No entanto pode se avaliar o comportamento de um coletor solar em paredes e tetos, tema amplamente pesquisado dadas as suas possibilidades para melhorar a habitabilidade de um espaço.

Para estudos futuros sugere-se avaliar o mesmo espaço com as janelas abertas usando telas contra mosquitos, para comparar o desempenho do espaço sem a utilização de uma chaminé. Com estes resultados poderia se determinar com maior precisão a conveniência de utilizar uma chaminé solar, ou simplesmente se é melhor aumentar a área das aberturas. Porém esse efeito não pode ser avaliado com o EnergyPlus, requerendo a utilização de modelos de CFD (Computer Fluids Dynamics).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLARD, Francis. “Natural ventilation in buildings: A Design Handbook”, James and James Science Publishers, London. 1998.
- BASSIOUNY, Ramadan; KOURA, Nader S.A. An analytical and numerical study of solar chimney use for room natural ventilation. **Energy and Buildings** v.40, issue 5, p. 865–873. 2008.
- CHUNGLOO, Sudaporn; LIMMEECHOKCHAI, Bundit. Application of passive cooling systems in the hot and humid climate: The case study of solar chimney and wetted roof in Thailand. **Building and Environment** v. 42, Issue 9, p. 3341-3351. September 2007
- ENERGYPLUS. **EnergyPlus Engineering Reference**. The Reference to EnergyPlus Calculations. EnergyPlus, Oct 11, 2010.
- HE, Jiang; OKUMURA, Akio; HOYANO, Akira; ASANO, Kohichi. A solar cooling project for hot and humid climates. **Solar Energy** V. 71, n.2, p. 135–145, 2001.
- LABEEE (Laboratório de eficiência energética em Edificações). **Arquivos Climáticos**. Disponível em: <www.labeee.ufsc.br>. Acesso em: out. 2010.
- LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; RUTTKAY, Fernando Oscar. Eficiência Energética na Arquitetura. PW Gráficos e Editores Associados Ltda. 1997.
- LIU, Pei Chun; LIN, Hsien-Te; CHOU, Jung-Hua. Evaluation of buoyancy-driven ventilation in atrium buildings using computational fluid dynamics and reduced-scale air model. **Building and Environment** v. 44, issue 9, p 1970–1979. September 2009
- SANTAMOURIS, Mat; WOUTERS, Peter. Building Ventilation - The State of the Art. Earthscan - James & James. June 2006.
- WARDAH, Fatimah Mohammand Yusoff; SALLEH, Elias; ADAMB, Nor Mariah; SAPIAN, Abdul Razak; SULAIMAN, Mohamad Yusoff. Enhancement of stack ventilation in hot and humid climate using a combination of roof solar collector and vertical stack. **Building and Environment** v. 45, n. 10, p. 2296-2308. 2010.