

COMPORTAMENTO TÉRMICO DE FACHADA VENTILADA COM REVESTIMENTOS CERÂMICOS EM CONDIÇÕES DE INVERNO E VERÃO

Müller, A.,

PGMAT - Depto de Engenharia Mecânica - Universidade Federal de Santa Catarina - CEP 88040-900. Florianópolis/SC (Brasil)
muller@pg.materiais.ufsc.br

Güths, S.

LMPT - Depto de Engenharia Mecânica - Universidade Federal de Santa Catarina - CEP 88040-900. Florianópolis/SC (Brasil)
saulo@lmpt.ufsc.br

Alarcon, O. E.

PGMAT - Depto de Engenharia Mecânica - Universidade Federal de Santa Catarina - CEP 88040-900. Florianópolis/SC (Brasil)
orestes@pg.materiais.ufsc.br

Resumo. Em 1952 Simon Oostrach apresentou a solução para o escoamento laminar em uma placa plana vertical isotérmica. Esse caso oferece uma oportunidade única de validação dos instrumentos pela possibilidade de comparação dos resultados experimentais com análises teóricas. Os estudos tanto teóricos como experimentais continuam, visando avaliar o comportamento em condições e configurações diversas. No presente trabalho será apresentada uma análise numérica de uma experimentação realizada com uma placa plana vertical isotérmica onde foi determinado o coeficiente de troca de calor por convecção "h" através da medição do fluxo de calor. Esse trabalho é motivado por questionamentos advindos durante a experimentação, onde detectou-se um curioso acréscimo do coeficiente de troca de calor por convecção quando a placa era aproximada da base. Serão apresentados os resultados de uma simulação numérica onde é avaliada a influência da espessura da placa, da espessura do isolamento posterior, da forma da borda de ataque, da distância da parede e da distância da base

Palavras chave: : placa plana vertical, convecção, fluxo de calor

1. Introdução

Em países europeus como Itália e Alemanha, a utilização de fachadas ventiladas em edificações é corrente, havendo empresas que possuem tecnologias de aplicação adequadas para o sistema. No Brasil, há algum tempo são empregados painéis modulares para revestimento de fachadas em edificações, entretanto o sistema de fachadas ventiladas ainda não é empregado.

A fachada ventilada é um sistema construtivo constituído por uma camada de material de revestimento (placas cerâmicas, placas de pedra natural, etc.) ligeiramente distanciado da parede externa da edificação, formando uma camada de ar entre a camada de revestimento e a parede externa. Quando submetido a diferenças de pressão e de temperatura ocorrerá um escoamento denominado "efeito chaminé" (ASHRAE, 1985).

Os sistemas para fixação de revestimentos cerâmicos exigem a execução de cortes ou furos no material de revestimento para inserção dos dispositivos de fixação, de modo que podem ser introduzidos defeitos microestruturais e tensões residuais que prejudicam a resistência mecânica das peças.

O sistema de fachada ventilada tem como principal função colaborar na melhoria do isolamento higrotérmico da fachada da edificação. Uma melhoria no isolamento higrotérmico das paredes externas favorece condições aceitáveis de conforto térmico na habitação, conforme diretrizes especificadas no projeto de norma brasileira CE:02:135.07-003: Parte 3 (1998). Pode-se, ainda, conseguir redução significativa de consumo de energia envolvido na utilização de equipamentos de refrigeração ou aquecimento. Conforme autores como Mendes et al. (1999), o projeto de norma brasileiro é conservador quanto às resistências térmicas estabelecidas para fachadas ventiladas, não correspondendo ao comportamento e valores práticos normalmente verificados. O referido autor apresenta uma comparação entre as resistências térmicas estabelecidas e as comumente verificadas para uma fachada ventilada com tijolos cerâmicos. Pode-se fazer as mesmas considerações em relação aos valores estabelecidos pelas normas ISO 6946 (1996) e NBE-CT-79 (1979), que não se mostram coerentes com o comportamento térmico verificado em fachadas ventiladas. Desta forma, são necessários conhecimentos mais aprofundados acerca do comportamento térmico das fachadas ventiladas, sobretudo no Brasil onde se trata de uma tecnologia em desenvolvimento.

No verão o efeito chaminé no sistema de fachada ventilada elimina parte do calor que penetra na camada de ar, de modo que somente o restante do fluxo de calor é absorvido pela edificação. Em climas frios é comum utilizar uma camada de material isolante sobre a face externa da parede da edificação, reduzindo a perda do calor oriundo de sistema de aquecimento. Além disso, no inverno o efeito chaminé é reduzido, uma vez que o ar no interior da camada de ar e o ar ambiente exterior encontram-se em temperaturas e densidades próximas e, assim, não há prejuízos significativos para o conforto térmico dos ambientes (SIA, 1985).

O comportamento higrotérmico de um módulo construtivo com o sistema de fachada ventilada foi analisado por Meroni et alii. (1991). A temperatura foi mantida próxima a 20° C nos três andares, através de sistema de aquecimento, para simular adequadamente as condições de um edifício habitado. Empregando-se termografia com infravermelho, analisou-se o perfil de temperatura superficial da fachada com insolação, constatando-se um gradiente térmico entre os andares da edificação decorrente do fluxo de calor em uma camada de ar contínua. Desta forma, os autores recomendam a utilização de fachadas ventiladas com interrupções ao longo da altura da camada de ar, evitando-se o fluxo contínuo que eleva a temperatura em andares superiores, indesejável na condição de verão.

Medições de temperatura em dia típico de inverno mostram que quando a temperatura externa mínima é de aproximadamente 3° C, às 5 horas, a temperatura no interior da camada de ar ventilada é próxima a 4° C, para os três andares considerados. Quando a temperatura externa máxima é de 11° C às 15 horas (com radiação solar), as temperaturas internas na camada de ar são aproximadamente 13, 16 e 18,5 °C, no primeiro, segundo e terceiro andares.

Diferentes autores tais como Breton (1986), Gervais et al. (1991), Mootz et al. (1996), Balloco (2002), vêm desenvolvendo estudos com intuito de analisar e simular numericamente a transferência de calor em sistemas com paredes com camadas de ar ventiladas.

Buscou-se no presente estudo analisar o comportamento térmico no sul do Brasil (cidade de Tijucas, SC), em condições de inverno e verão, do sistema de fachada ventilada com materiais cerâmicos tipo grês porcelanato, empregados em coloração cinza. Comparou-se o comportamento térmico entre uma parede ventilada e uma parede comum com revestimentos cerâmicos fixos com argamassa, realizando-se medições de fluxo de calor e temperatura nas condições de verão e inverno.

2. Metodologia

Inicialmente, desenvolveu-se sistema de fixação de revestimentos cerâmicos em fachadas ventiladas, adequado à realidade tecnológica e econômica brasileira. Optou-se por um sistema com dispositivos de fixação não-aparentes onde são feitos furos não-passantes na parte posterior das placas e inseridos parafusos com buchas metálicas expansoras no interior destes. Estes parafusos são fixos a uma estrutura metálica portante constituída de perfis horizontais tipo “U” e de perfis verticais tipo “L”, a qual é presa a parede da edificação através de parafusos chumbadores.



Figura 1 - Vista geral do módulo construtivo com a parede ventilada e a parede comum.



Figura 2 - Detalhe da abertura inferior da câmara de ar ventilada.

Procedeu-se a execução de um módulo construtivo climatizado (ar condicionado 10.000 BTU com regulagem de temperatura quente e frio) na cidade de Tijucas, SC (Fig.1). O módulo é constituído por uma estrutura em pilares e vigas de concreto armado, sendo os vãos preenchidos com tijolos cerâmicos maciços e havendo uma única abertura que é a porta de acesso. Procedeu-se montagem de um painel de fachada ventilada (2,70 x 2,70 m) constituído de revestimentos cerâmicos tipo grês porcelanato em dimensões 45 x 45 cm, em cor cinza, com um afastamento de 16,5 cm da parede da edificação. A fachada está orientada a 110° em relação ao norte magnético, de modo a receber uma insolação intensa (Fig. 3). Na parede adjacente foi assentado com argamassa o mesmo tipo de revestimento, de modo a constituir uma parede de referência, que virá a ser chamada "parede comum".

Para simular as condições de verão, o ar condicionado foi ajustado para operação em resfriamento, já para a situação de inverno foi ajustado para operar no modo de aquecimento. Foram utilizados sensores de temperatura integrados (LM35 - National Semiconductos) que fornece uma tensão em função da temperatura (10 mV/°C), com incerteza de medição estimada em 0.3 °C. Para medir o fluxo de calor foram utilizados fluxímetros chamados "a gradiente tangencial" com dimensão de 10 cm x 10 cm desenvolvido por Güths (1994, 1995) e construído no Laboratório LMPT do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina. Trata-se de um sensor com grande sensibilidade (70 $\mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$) e pequena espessura (300 μm), permitindo a medição do fluxo de calor em paredes com um mínimo de perturbação (Güths, 1995). A Figura 3 mostra um corte da edificação e o posicionamento dos sensores.

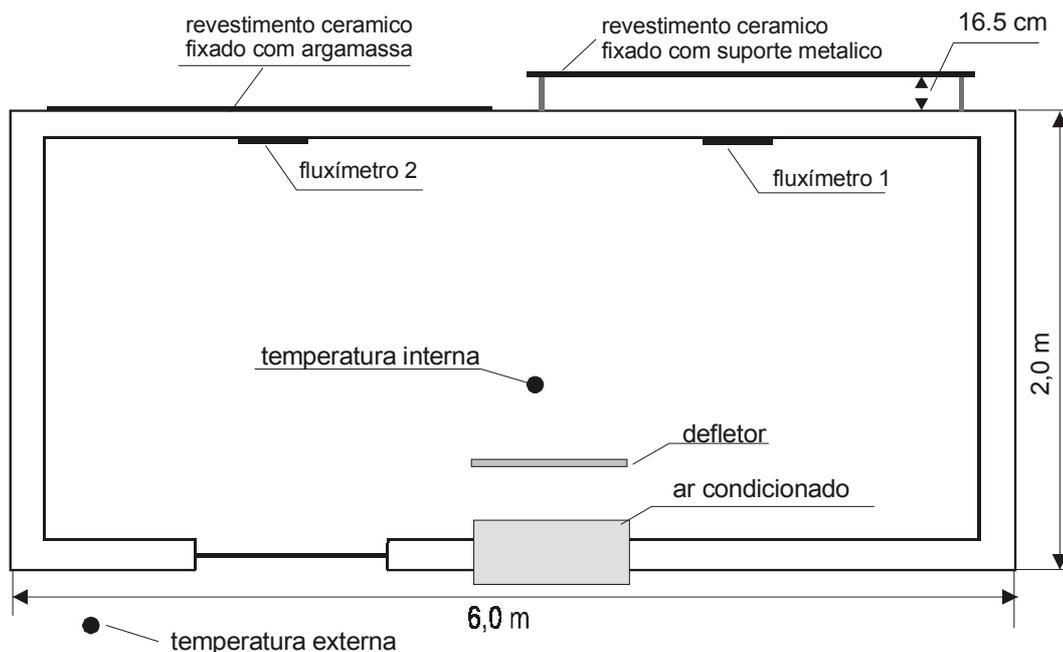


Figura 3 - Esquema do módulo construtivo e posição dos sensores.

Os sinais foram adquiridos por um sistema igualmente desenvolvido no laboratório LMPT, composto de um conversor A/D de 10 bits, 11 canais, comunicando com um microcomputador através da porta paralela. Os canais são varridos a cada segundo, e os valores médios armazenados em disco a cada 10 minutos.

A avaliação foi realizada em condições de inverno e verão, tanto em dias ensolarados com pouca nebulosidade como em dias nublados com períodos de chuva. Foram escolhidos três dias consecutivos que fossem característicos das condições analisadas.

3. Resultados da Condição de Verão

Na condição de verão o ar condicionado foi ajustado para operar no modo de resfriamento. Em dias de calor intenso e sol com pouca nebulosidade verificam-se na parede comum picos máximos de fluxo de calor próximos a 35 W/m^2 (Fig. 4). Na parede ventilada constata-se valores máximos significativamente inferiores, variando entre 15 e 18 W/m^2 .

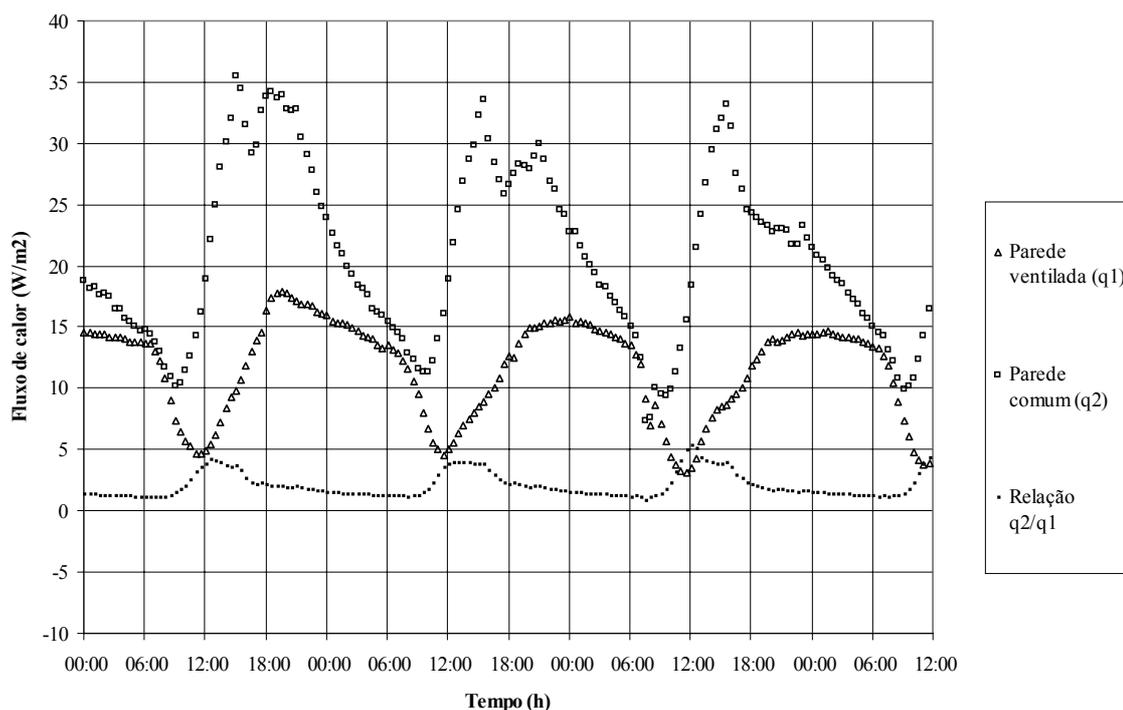


Figura 4 - Fluxos de calor nas paredes em condições de verão com tempo ensolarado.

A parede comum apresenta um fluxo máximo em torno das 18:00 horas, enquanto que na parede ventilada o fluxo máximo ocorre após às 20:00 horas, e de uma forma mais amena. Essa diferença decorre da maior resistência térmica da parede ventilada, resultando em uma maior inércia da mesma. Na parede comum nos dois primeiros dias, por volta das 15:00 h, verifica-se uma oscilação do pico de fluxo de calor, possivelmente decorrente dos tempos distintos em que ocorrem os valores máximos da temperatura interna, temperatura externa e radiação solar.

A razão entre o fluxo de calor na parede comum e na parede ventilada ($q2/q1$) pode ser apresentado como a eficiência do dispositivo. A média da razão $q2/q1$ em períodos de verão com sol ficou em torno de 2.5, chegando a 4 no período das 12:00 às 16:00 horas.

Tais valores demonstram que a parede ventilada com revestimentos cerâmicos (grês porcelanato) apresenta uma redução significativa na transferência de calor quando comparada com uma parede comum com revestimentos fixos com argamassa. A Figura 5 mostra a temperatura ambiente externa e interna, e a diferença entre ambas, ao longo do tempo.

Percebe-se que o sistema de condicionamento de ar não foi suficientemente potente para manter a temperatura interna constante. Mas foi capaz de mantê-la abaixo da temperatura externa, chegando a mais de $10 \text{ }^\circ\text{C}$ de diferença no meio do dia. Pode-se ainda notar o atraso térmico das temperaturas interna e externa. A temperatura externa apresenta um máximo às 14:00 horas, enquanto que na temperatura interna o pico máximo ocorre por volta das 16:00 horas.

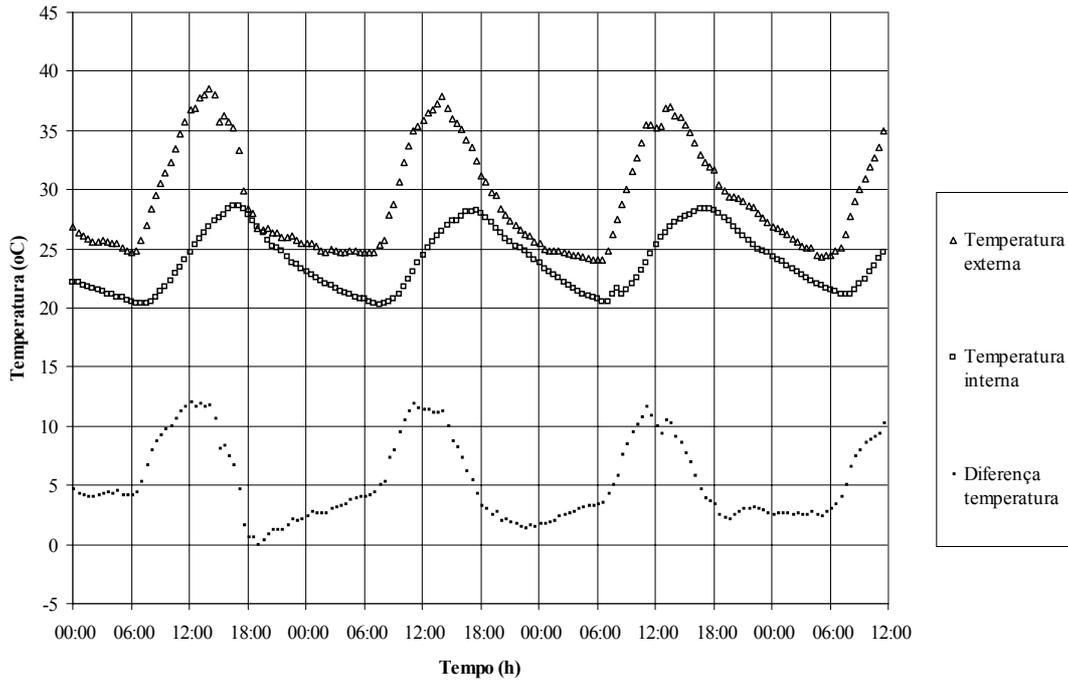


Figura 5 - Temperaturas externa e interna em condição de verão com tempo ensolarado.

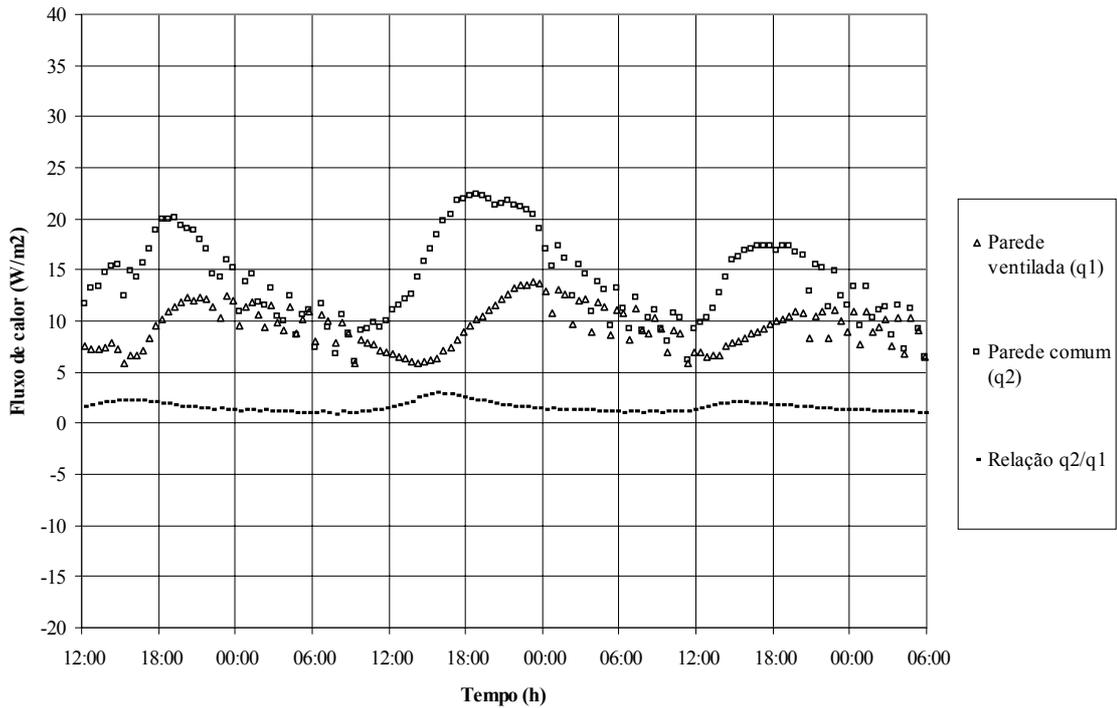


Figura 6 - Fluxos de calor em condição de verão com tempo nublado/chuvoso.

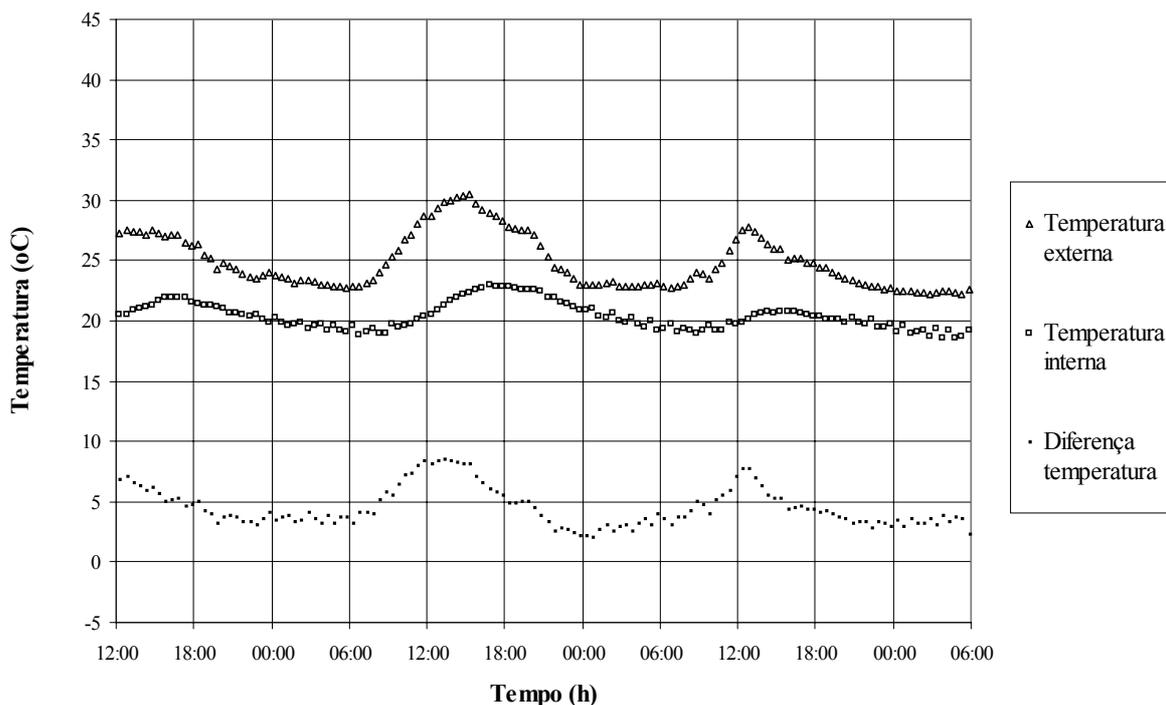


Figura 7 - Temperaturas externa e interna em condição de verão com tempo nublado/chuvoso.

As Figuras 6 e 7 mostram os valores dos fluxos de calor e temperaturas para um dia de verão, porém com tempo nublado/chuvoso. Consta-se que os valores máximos de fluxo de calor na parede comum são próximos a 20 W/m^2 , superiores aos valores máximos verificados para a parede ventilada (entre 12 e 14 W/m^2).

A diferença entre a temperatura interna e a externa ficou na faixa compreendida entre $2,5 \text{ }^\circ\text{C}$ e $9 \text{ }^\circ\text{C}$ (Fig. 6). A temperatura interna no módulo ficou entre $20 \text{ }^\circ\text{C}$ e $23 \text{ }^\circ\text{C}$.

Os valores da relação de eficiência mostraram um comportamento mais homogêneo que na condição analisada anteriormente, variando em uma faixa de $1,0$ a $3,0$ e demonstrando que mesmo em dias nublados/chuvosos a parede ventilada mostra-se mais eficaz em relação ao isolamento térmico.

3. Resultados da Condição de Inverno

Na condição de inverno o ar condicionado foi ajustado para operar no modo de aquecimento, resultando em uma temperatura interior superior à temperatura exterior (diferença de aproximadamente $7 \text{ }^\circ\text{C}$). A Figura 8 apresenta os valores de fluxo de calor medidos na parede ventilada e comum, assim como a relação q_2/q_1 .

Em dias de inverno ensolarados a parede comum apresenta ganhos de calor chegando a picos máximos de 15 a 20 W/m^2 . Já a parede ventilada em nenhum dia analisado obteve ganhos de calor, o que é uma situação desfavorável considerando que no inverno os ganhos de calor são bem-vindos.

Durante a noite constata-se que as perdas de calor são semelhantes entre as duas paredes. A relação q_2/q_1 não pode ser considerada como eficiência, pois durante o período diurno ocorre uma inversão dos fluxos de calor. A Figura 9 apresenta os valores das temperaturas interna e externa e a diferença entre elas.

A temperatura interna sempre permaneceu acima da temperatura externa, com uma diferença média de $8 \text{ }^\circ\text{C}$. Em dias nublados/chuvosos o comportamento de ambas as paredes mostrou-se semelhante, com perdas de calor tanto no período noturno como no período diurno (Fig. 10).

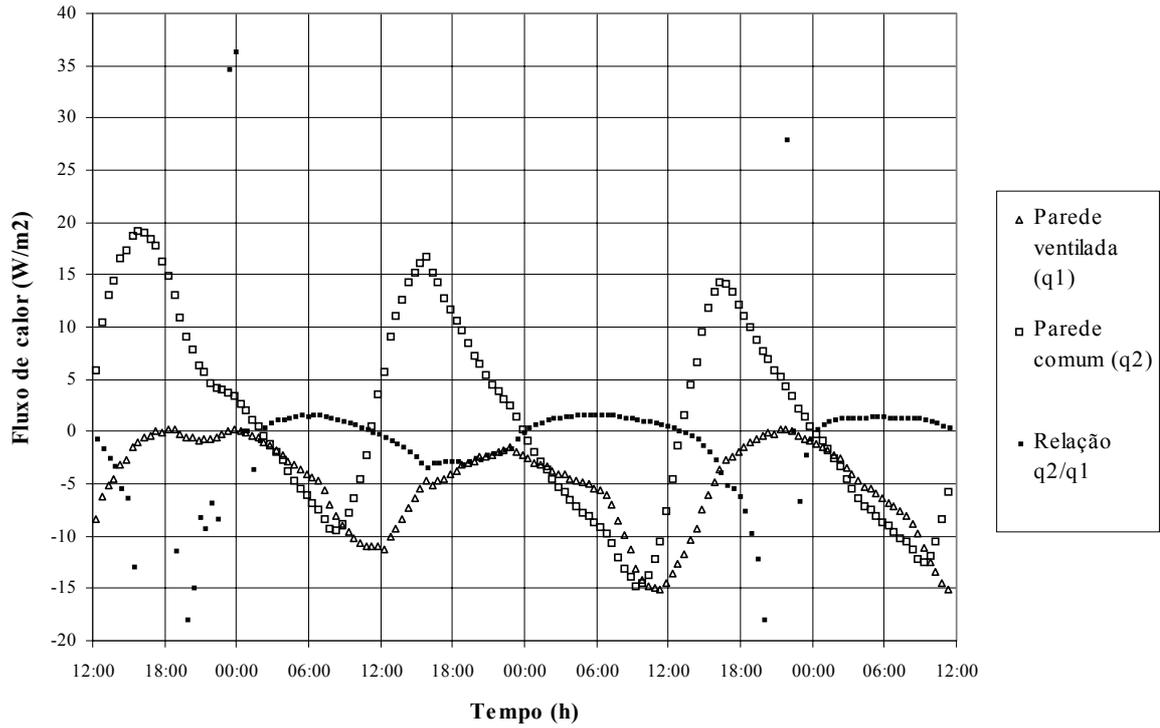


Figura 8 - Fluxos de calor em condição de inverno com tempo ensolarado.

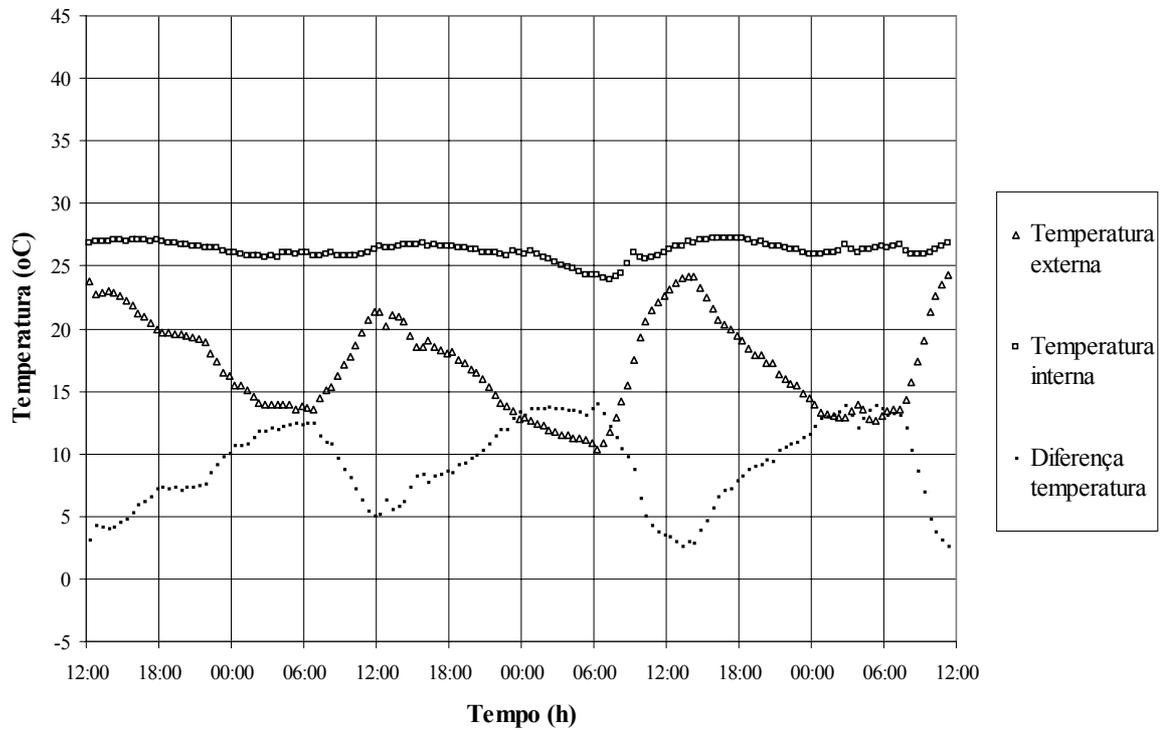


Figura 9 - Temperaturas externa e interna em condição de inverno com tempo ensolarado.

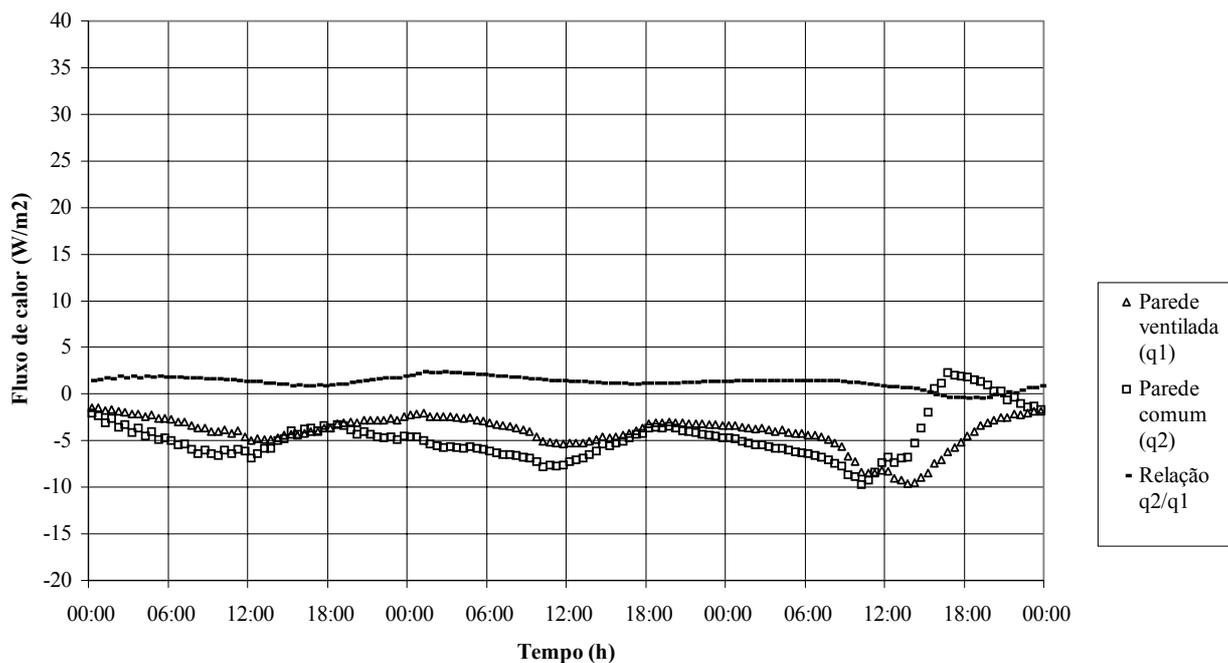


Figura 10 - Fluxos de calor em condição de inverno com tempo nublado/chuvoso.

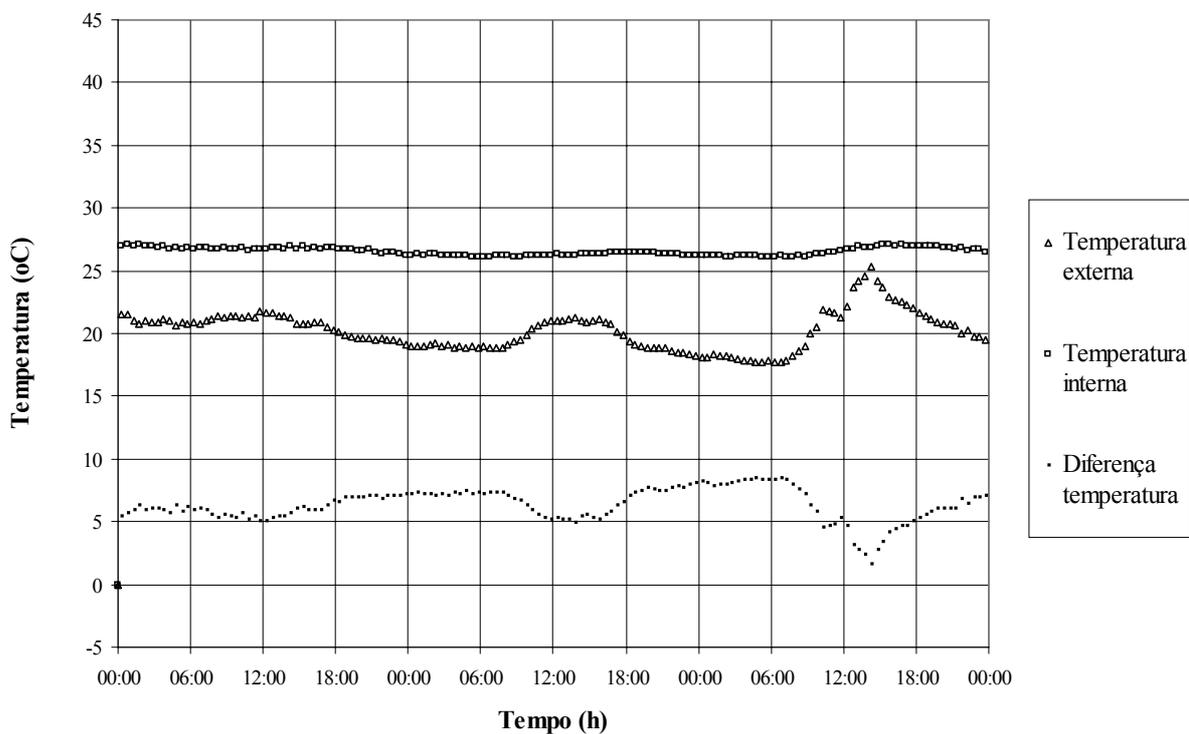


Figura 11 - Temperaturas externa e interna em condição de inverno com tempo nublado/chuvoso.

A relação q_2/q_1 ficou compreendida entre 1,0 e 2,5, demonstrando que a parede comum perdeu mais calor que a parede ventilada no inverno com dias nublados/chuvosos. Isso se deve à maior resistência térmica da parede ventilada. A Figura 11 mostra as temperaturas interna e externa do período analisado. Nota-se a melhor estabilização da temperatura interna, revelando a forte influência da carga térmica por radiação.

4. Conclusão

O artifício de simulação das condições de inverno e verão através da mudança de temperatura interior mostrou-se eficaz e possibilitou a análise em diferentes condições em um curto período de tempo. O uso de transdutores de fluxo de calor foi decisivo na análise, demonstrando ser uma excelente ferramenta para a análise térmica de edificações.

O emprego da razão q_2/q_1 (fluxo de calor na parede comum / fluxo na parede ventilada) pode ser entendido como a eficiência do dispositivo, mas somente em situações onde as duas paredes ganham ou perdem calor. Em condição de verão com pouca nebulosidade a parede comum apresenta valores máximos de fluxo de calor próximos a 35 W/m^2 , enquanto a parede ventilada apresenta valores máximos significativamente inferiores (entre 15 e 18 W/m^2). A razão q_2/q_1 apresenta um valor médio em torno de $2,5$, chegando atingir valores iguais a $4,0$, demonstrando a grande eficiência da parede ventilada.

Em condição de verão com nebulosidade e/ou chuva, a parede ventilada também mostrou-se eficaz, obtendo ganhos de calor sempre menores que a parede comum. Entretanto em condição de inverno, onde os ganhos de calor são desejados, a parede ventilada mostrou-se ineficaz. Enquanto a parede comum ganhou calor durante os dias ensolarados, a parede ventilada somente perdeu. No período noturno as duas paredes comportaram-se de maneira semelhante. Em dias de inverno nublado e/ou chuvoso a parede ventilada mostrou-se ligeiramente melhor, perdendo uma menor quantidade de calor para o meio externo.

Outras análises continuam em andamento com o objetivo de implementar mecanismos que possam melhorar o rendimento em condições de inverno. Mas em condição de verão pode-se afirmar que o emprego de parede ventilada é altamente recomendável, resultando em uma redução de mais de 50% da carga térmica de fachadas expostas à radiação solar. Nas condições analisadas, o sistema é aplicável principalmente em regiões do Brasil com clima tropical onde não exista muita necessidade de ganhos de calor no inverno.

5. Agradecimentos

Ao SENAI - Tijuca pela colaboração no desenvolvimento do projeto;

À empresa Cerâmica Portobello pela doação dos materiais cerâmicos utilizados neste trabalho;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo suporte financeiro desta pesquisa.

6. Referências

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1998, “Projeto 02:135.07-003 - Desempenho Térmico de Edificações – Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social”.
- ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 1985, “Handbook of Fundamentals”, Atlanta.
- Balocco, C., 2002, “A Simple Model to Study Ventilated Facades Energy Performance”. *Energy and Buildings*, Volume 34, pags. 469-475.
- Breton, J., 1986, “Modélisation Thermique et Simulation Numérique en Régime Variable de Parois à Lamé d’air Insolée et/ou Ventilée”. França, Tese de Doutorado, I.N.S.A de LYON.
- Gervais, P., Gery, A, Hoang, M. T. A, 1991, “Numerical Study for Energetic Performance of One Room House Including a Heat Exchanger Wall.” *Heat and Mass Transfer in Building Materials and Structures*, Nova Iorque, Hemisphere Publishing Corporation, 807p.
- Güths, S., 1994, “Anémomètre a Effet Peltier et Fluxmètre Thermique: Conception et Réalisation. Application à l’Etude de la Convection Naturelle”. Tese de Doutorado, Université d’Artois, França.
- Güths, S., Philippi, P.C., Gaviot, E. e Therry, P., 1995, “Um Transdutor de Fluxo de Calor a Gradiente Tangencial.” *Anais do XI Congresso Brasileiro em Engenharia Mecânica (COBEM)*, CDROM, Belo Horizonte.
- ISO – International Standards Organization, 1996, “ISO 6946. Building Components and Building Elements – Thermal Resistance and Thermal Transmittance – Calculation Method”.
- Mendes, R. J. K., Barth, F., 1999, “Análise do Desempenho Térmico de Fachadas Ventiladas com Tijolos Cerâmicos Segundo o Projeto de Norma Brasileira – Desempenho térmico de edificações”. UFSC.
- Meroni, I., Espostini, W., Tirloni, P., Pollastro, C., 1991, “Facciate Ventilate: il Comportamento Igrometrico”. *L’Edilizia*, p. 203-208.
- Mootz, F., Bezian, J., 1996, “Numerical Study of a Ventilated Facade Panel”. *Solar Energy*, 57, n. 1.
- NBE CT-79 – Norma Básica de la Edificación, 1979, *Condiciones Térmicas en los Edificios*.
- SIA – Schweizer Ingenieur und Architekt, 1985, “Bauphysik der Hinterlüfteten Fassade”, *Schweizer Ingenieur und Architekt*, v. 103, n. 44, p. 1107-1110.

THERMAL COMPORTMENT OF VENTILATED FACADE WITH WALL TILES IN WINTER AND SUMMER CONDITIONS

Müller, A.,

PGMAT - Depto de Engenharia Mecânica - Universidade Federal de Santa Catarina - CEP 88040-900.
Florianópolis/SC (Brasil)
muller@pg.materiais.ufsc.br

Güths, S.

LMPT - Depto de Engenharia Mecânica - Universidade Federal de Santa Catarina - CEP 88040-900. Florianópolis/SC
(Brasil)
saulo@lmpt.ufsc.br

Alarcon, O. E.

PGMAT - Depto de Engenharia Mecânica - Universidade Federal de Santa Catarina - CEP 88040-900.
Florianópolis/SC (Brasil)
orestes@pg.materiais.ufsc.br

Abstract. *Ventilated facade system is constituted by a covering material layer slightly distanced of building external wall, forming a ventilated air layer between this revestment layer and the external wall. By effect of pressure and temperature gradients can occur a air movement phenomenon, knowed as effect chimney. In countries as Italy and Germany, ventilated facades use is current, while in Brazil the system is still not used, and neither there are studies that demonstrates the device efficiency. The aim is to analyze the thermal behavior in south of Brazil (Tijucas, SC), in conditions of winter and summer, of such systems covered with porcelainized stoneware. The analysis tool was a new type of heat flux transductor that showed highly efficient in measured of thermal exchanges. Are shown the results of heat fluxes in the walls conventional and ventilated in a climatized constructive module, beyond the efficiency relation lost/profit of heat between the walls. In winter, the ventilated wall loses little heat that the common wall in conditions of cloudy/raining, earning, however, little heat in days of sun. In summer, it has minor profit of heat in the wall ventilated in days with or without sun*

Keywords: *ventilated facade, heat fluxmeter, thermal comportment*