

**ANÁLISE HIGRO-TÉRMICA DE FACHADAS VENTILADAS
NAS CONDIÇÕES DE INVERNO****Fernando Barth (1), Ana Carolina Grilo(2)**

(1) Professor Doutor do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da UFSC

(2) Graduando em Arquitetura e Urbanismo, bolsista PIBIC-CNPq

Centro Tecnológico 88 010-970 Florianópolis - ferbarth@arq.ufsc.br**RESUMO**

Este trabalho corresponde a análise do desempenho higro-térmico da fachada ventilada na situação de inverno num estudo de caso situado em Florianópolis. As medições de temperatura e umidade foram realizadas no interior das duas salas do protótipo, no ambiente exterior e no interior da câmara de ar formado por paredes duplas de madeira. As medições foram realizadas em três etapas: fachada oeste não ventilada, pouco ventilada e muito ventilada, de acordo com as condições de ventilação propostas pelo Comitê Brasileiro de Construção Civil CB-02 no Projeto de Norma Brasileiro: Desempenho Térmico das Edificações. A fachada oeste da sala B foi mantida com a câmara de ar interna sem ventilação como controle do experimento. Os resultados deste trabalho permitem mostrar que a ventilação da fachada dupla não produz efeitos prejudiciais significativos ao comportamento higro-térmico dos ambientes interiores na situação de inverno de Florianópolis.

Palavras-chave: Fachada, Ventilada, Térmico

1. AS FACHADAS VENTILADAS NA SITUAÇÃO DE INVERNO

Os benefícios resultantes da utilização de fachadas ventiladas na situação de verão em Florianópolis foram apresentados por Barth, F. (2001) em medições no mesmo protótipo. Nele verificou-se que a ventilação da câmara interna propicia ligeira melhoria no desempenho térmico da fachada oeste, entre 8 e 10% nos valores das temperaturas em °C. A hipótese que é colocada para este trabalho é que a ventilação da câmara de ar não afeta de forma significativa as temperaturas dos ambientes interiores, ou seja, que a ventilação da fachada produz melhorias do desempenho higro-térmico na situação de verão sem no entanto prejudicar o seu funcionamento na situação de inverno, especialmente nas noites mais frias como poderia ser esperado.

2. AS CONFIGURAÇÕES DO EXPERIMENTO

A pesquisa foi realizada em uma edificação pré-fabricada de madeira localizada em Florianópolis, cuja latitude 27°40' e está localizada na zona bioclimática 3 com verão quente e úmido (CB-02, 1998). A média das temperaturas máximas no verão é de TBS=28.6° e as médias das temperaturas mínimas no inverno são TBS=13.4°. As médias mensais de umidade relativa ficam entre 81 - 84 % durante todo o ano (Goulart, 1998). As dimensões das duas salas são de 3m x 4m com 2.8m de altura, e são feitas de 3cm de parede de madeira de lei, com piso e teto feitos do mesmo material. As fachadas oeste dessas salas não possuem janelas e suas portas comunicam a um corredor. A resistência térmica da parede de madeira é $R_t=0.13\text{m}^2\text{K/W}$ com capacidade térmica $CT=8.1\text{KJ/m}^2\text{K}$ e atraso térmico $\phi=2.2\text{h}$. O experimento consiste em medições das temperaturas e das umidades absolutas no interior e exterior das duas salas, realizadas com três equipamentos Hobo Rh-Temp. Na câmara interna da fachada dupla utilizou-se um equipamento Hobo Rh-Temp2E, com dois sensores adicionais de temperatura, situados no ponto inferior a 0,1m, no ponto médio a 1,1m e no ponto superior a 2,1 m do piso.

Os equipamentos foram numerados e posicionados nos mesmos pontos em diferentes períodos da medição. As portas e janelas das duas salas foram vedadas com fita adesiva de modo a

evitar as infiltrações de ar. As medições das temperaturas externas e internas e umidade do ar foram feitas durante o inverno, de acordo com três etapas: fachada oeste não ventilada, pouco ventilada e muito ventilada, de acordo com as condições de ventilação propostas pelo Comitê Brasileiro de Construção Civil CB-02 no Projeto de Norma Brasileiro: Desempenho Térmico das Edificações. A fachada oeste da sala B foi mantida com a câmara de ar interna sem ventilação como controle do experimento. As temperaturas foram tomadas de 20 de junho à 18 de julho de 2001, com medições a cada 15 minutos.

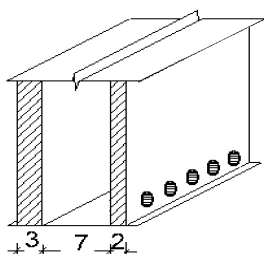


Figura 1 – Perspectiva da parte inferior da fachada

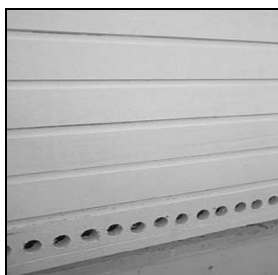


Figura 2 – Fachada pouco ventilada: $S/L < 500 \text{ cm}^2/\text{m}$

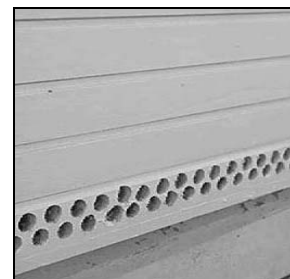


Figura 3 – Fachada muito ventilada $S/L \geq 500 \text{ cm}^2/\text{m}$

3. TEMPERATURAS E UMIDADES NAS PAREDES DUPLAS NÃO VENTILADA.

3.1 Análise das temperaturas nas paredes não ventiladas.

A figura 4 mostra as temperaturas no interior da sala A e B, no exterior e num ponto situado a 1,10m de altura dentro da câmara de ar. As temperaturas das duas salas não apresentam grandes diferenças tanto durante o dia quanto a noite. A amplitude média de temperaturas nos ambientes internos, foi da ordem de 5°C , oscilando entre $14,5^\circ\text{C}$ e $19,9^\circ\text{C}$, conforme pode ser observado na tabela 1. As temperaturas da câmara de ar tendem a seguir as variações das temperaturas exteriores, mantendo durante a noite temperaturas mínimas de aproximadamente $0,5^\circ\text{C}$ acima da temperatura exterior. A figura 5 mostra as temperaturas no interior da câmara de ar nos pontos situados próximos a base inferior, no meio e na parte superior. Neste gráfico pode-se observar que as temperaturas no ponto inferior e no ponto médio não diferem significativamente e que as temperaturas no ponto superior ultrapassam, por volta das 16hs, em aproximadamente $3,7^\circ\text{C}$ as temperaturas no ponto médio. Isto deve-se provavelmente porque o ar aquecido é aprisionado no interior da câmara não ventilada deslocando-se para a parte superior da mesma.

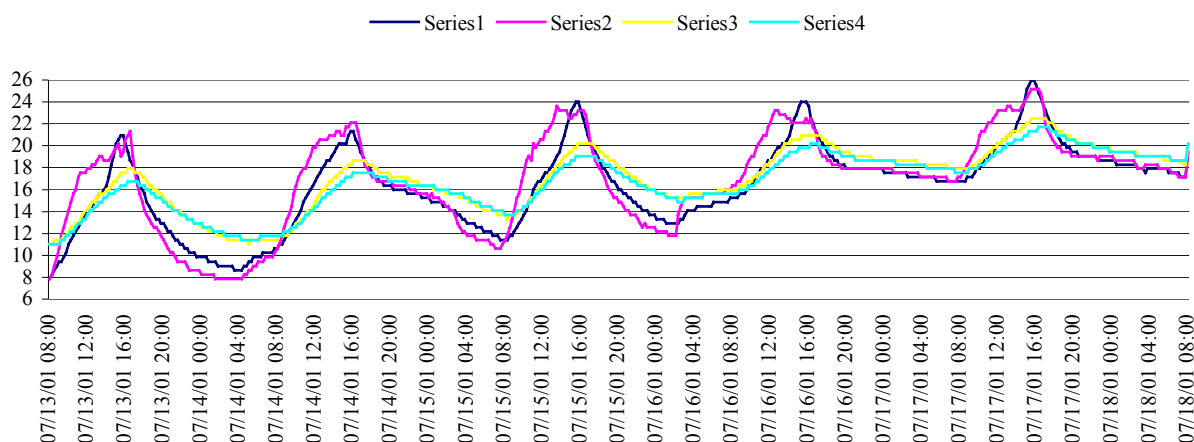


Figura 4 - Temperatura($^\circ\text{C}$): S1 – no ponto médio da câmara de ar, S2- exterior, S3- interior da sala A, e S4- interior da sala B.

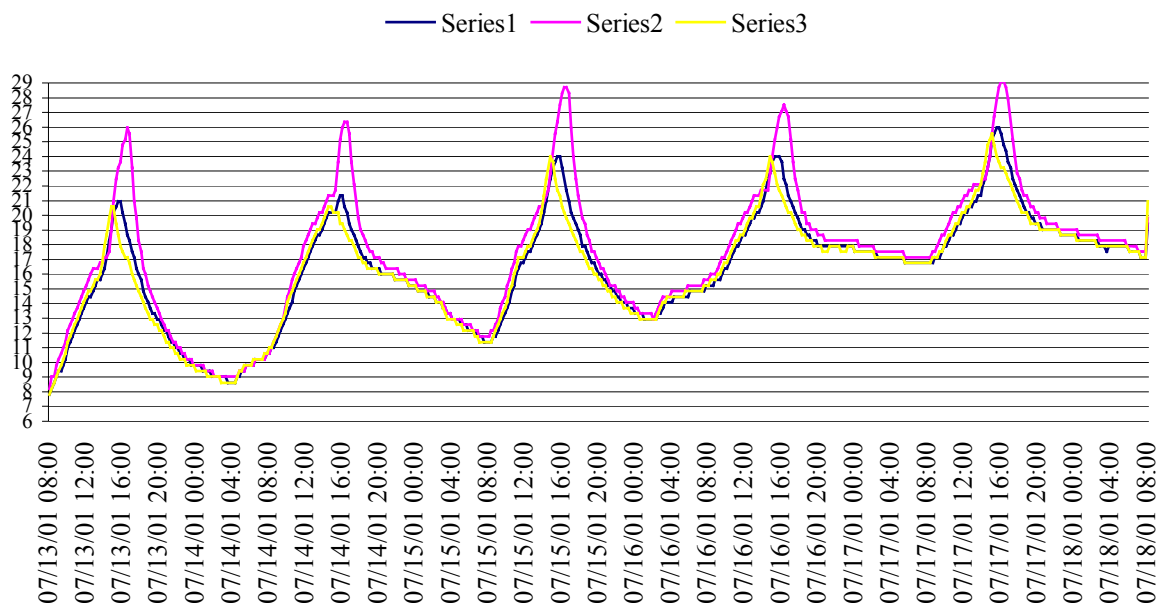


Figura 5 – Temperaturas na câmara de ar (°C): S1- no ponto médio h=110 cm , S2- no ponto superior h=210 cm interna na sala A, S3- no ponto inferior h=10 cm.

Tabela 1: Temperatura máx. e min. diárias para a parede não ventilada.

Temperaturas °C	Câmara de ar			Ext.	Sala A	Sala B
	H=0,1	H=1,1	H=2,1			
Média das máx. diárias	22,61	22,61	26,23	22,48	19,99	19,23
Média das min. diárias	12,44	12,44	12,77	11,98	14,45	14,51

3.2 Umidades Absolutas na parede dupla não ventilada

A figura 6 mostra a umidade absoluta em g/m^3 no interior das salas A e B, no exterior e no interior da câmara de ar não ventilada. As paredes das salas atuam como controladores da passagem de vapor de água entre os ambientes, fazendo com que os conteúdos de vapor de água nos ambientes internos apresentem amplitudes de variações relativamente menores que as amplitudes externas. as variações de umidade absoluta do ambiente externo foram de $3,5\text{g/m}^3$ enquanto que nos ambientes internos as amplitudes de variações foram na ordem de $2,5\text{g/m}^3$ conforme mostra a tabela 2. Entretanto, as umidades absolutas na câmara de ar mostraram-se por volta das 15-16hs surpreendentemente maiores que as demais. Isto pode ser devido a produção de vapor de água da camada externa de madeira quando recebe a radiação solar no período da tarde (fachada oeste).

Tabela 2 – Máximas e mínimas diárias das umidades absolutas (g/m^3) na condição de verão: S1-no ponto médio da câmara não ventilada, S2-Exterior, S3-Interior da sala A, e S4-Interior da sala B.

Umidade absoluta (g/m^3)	Câmara de ar	Ext.	Sala A	Sala B
Média das máximas diárias	17,5	13,3	13,7	12,7
Média das mínimas diárias	8,6	9,8	10,9	10,7

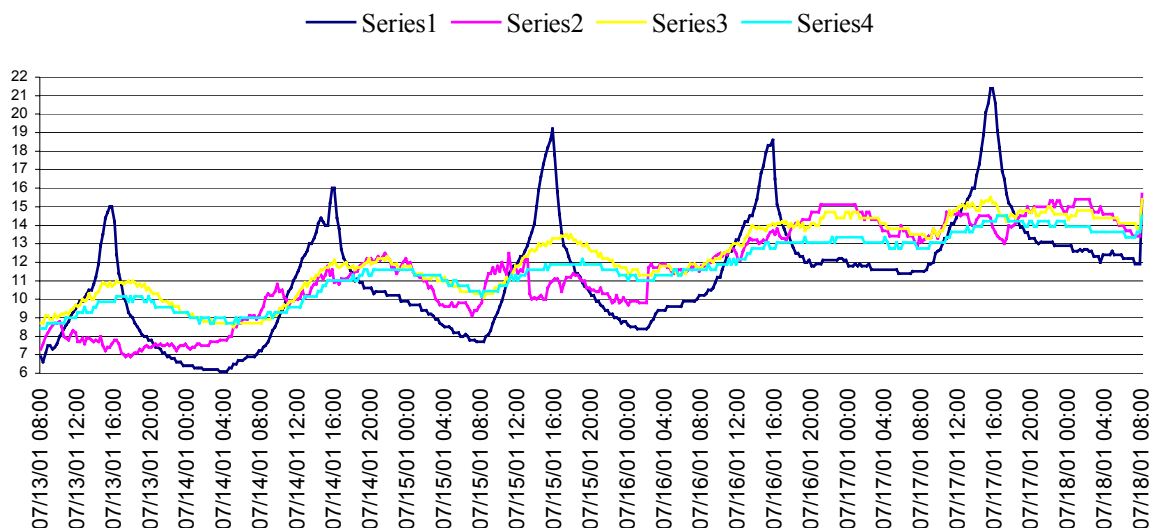


Figura 6—Umidade Absoluta (g/m^3): S1 na câmara, S-2 Exterior, S-3 na sala A e S-4 na sala B.

4. TEMPERATURAS E UMIDADES NAS FACHADAS VENTILADAS

As aberturas de ventilação na parte inferior e superior da parede foram realizadas de acordo com o grau de ventilação estabelecido pelo Projeto de Norma Brasileiro: Desempenho Térmico de Edificações (CB-02, 1998). A ventilação da câmara vertical de ar pode ser: pouco ventilada $S/L < 500 \text{ cm}^2/\text{m}$ ou muito ventilada $S/L \geq 500 \text{ cm}^2/\text{m}$, onde L é a área de abertura de ventilação em cm^2 e S é o comprimento da parede em metros.

4.1. Análise das temperaturas na fachada pouco ventilada

A fachada oeste da sala A apresenta um grau de ventilação $S/L = 264 \text{ cm}^2/\text{m}$ ($132 \text{ cm}^2/\text{m}$ na parte inferior e $132 \text{ cm}^2/\text{m}$ na parte superior). A fachada oeste da sala B permaneceu sem ventilação atuando como controle dessa parte do experimento. A figura 7 mostra as temperaturas nos diversos ambientes na situação de inverno. Nela pode observar-se que as temperaturas das duas salas não diferem significativamente, com a média das temperaturas mínimas praticamente iguais para este período conforme sinaliza a tabela 3. Isto evidencia que as aberturas na câmara de ar na condição pouco ventilada não tiveram grande influência nas variações das temperaturas internas das salas mesmo quando as temperaturas externas caíram por volta dos 7°C . As temperaturas na câmara de ar tendem a seguir as temperaturas externas porém com amplitudes térmicas em torno de 1°C . Nos dias e noites parcialmente nublados as temperaturas nos diversos ambientes apresentaram valores muito semelhantes, com variações também em torno de 1°C nos dias 24 à 26 de junho.

A figura 8 mostra que as temperaturas na câmara de ar nos pontos médio, inferior e superior é bastante similar às temperaturas da câmara não ventilada, entretanto sem que as temperaturas máximas no ponto superior da câmara apresentassem valores tão elevados devido a possibilidade de saída do ar quente nos períodos onde incidia a radiação solar na fachada oeste. A diferença média entre as temperaturas máximas no ponto médio e superior é de aproximadamente de $1,5^\circ\text{C}$, conforme mostra a tabela 3. Observou-se que as temperaturas mínimas e as temperaturas no interior da câmara Nos dias nublados (24 à 26 de julho), assim como nos períodos noturnos, as temperaturas no interior da câmara não apresentaram variações significativas, evidenciando a diminuição do fenômeno de convecção interna nestas situações.

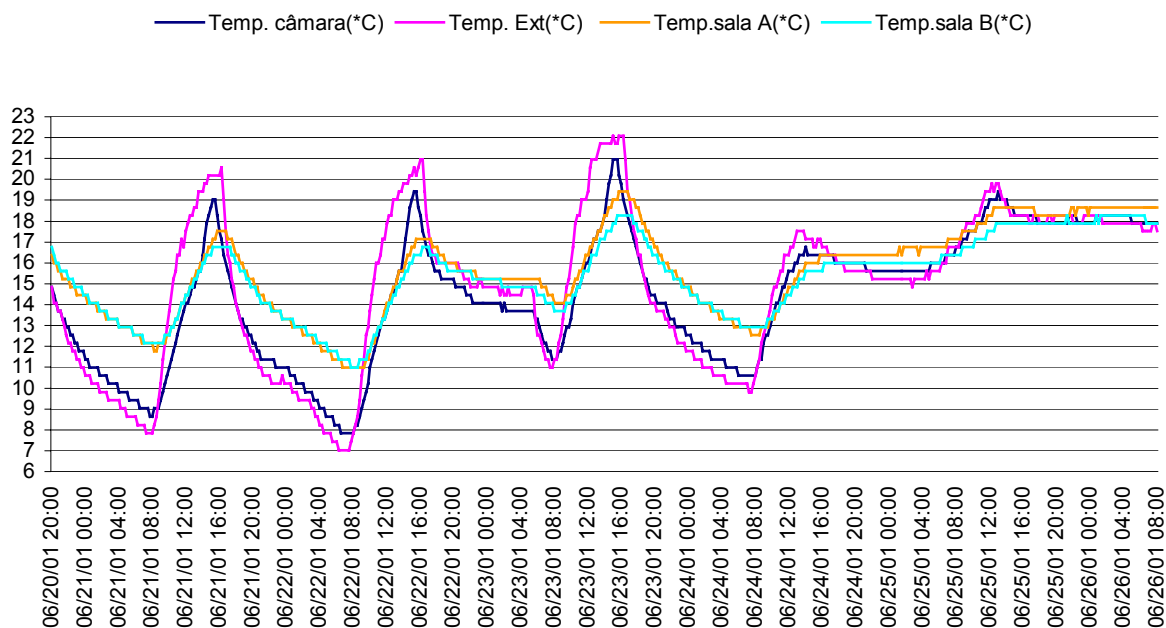


Figura 7 – Temperaturas (°C) nos ambientes: S1-no ponto médio da câmara de ar, S2-Exterior, S3-Interior da sala A, S4-Interior da sala B.

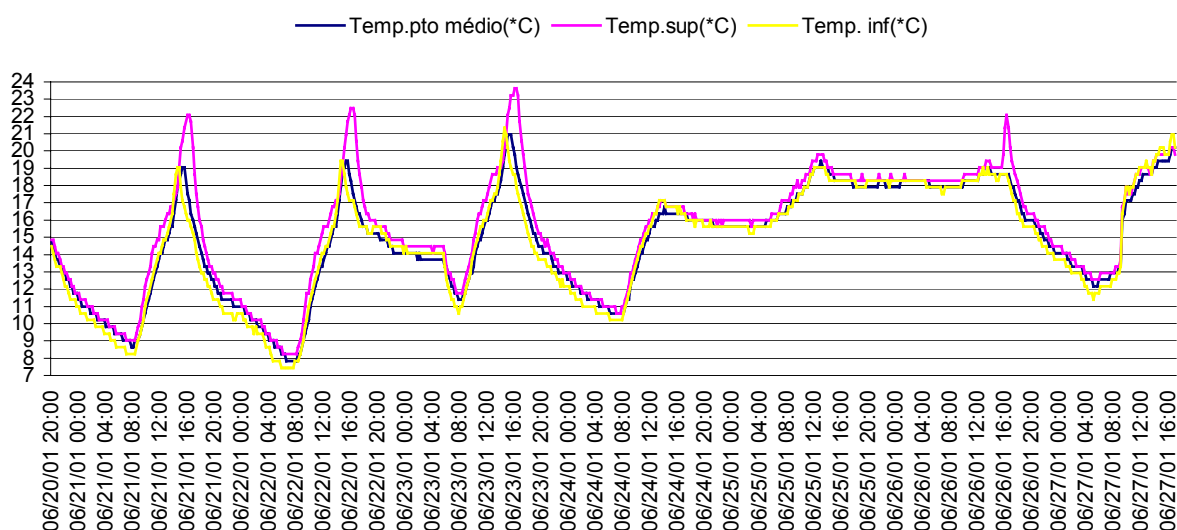


Figura 8-Temperatura(°C): S1-ponto médio da câmara de ar, S2-ponto superior a 210 cm, e S3-ponto inferior a 10cm de altura.

Tabela 3: Temperatura máx. e min. diárias para a parede dupla pouco ventilada(A) e não ventilada (B).

Temperaturas °C	Câmara de ar			Ext.	Sala A	Sala B
	H=0,1	H=1,1	H=2,1			
Média das máx. diárias	18,80	18,7	20,28	19,75	18,13	17,75
Média das min. diárias	10,97	11,51	11,75	10,77	13,85	13,79

4.2 Análise da umidade absoluta na fachada pouco ventilada

Observa-se na figura 9 que as variações das umidades absolutas nos ambientes internos são cíclicas e defasadas com relação aos respectivos valores externos nos dias ensolarados. Nos dias nublados essas variações são menos intensas com amplitudes mais reduzidas conforme pode-se observar nos dias 24 à 26 de junho. As umidades absolutas no interior da câmara

pouco ventilada já não ultrapassam os valores máximos do ambiente externo, ou seja, as aberturas de ventilação evitaram o aumento de concentração de vapor de água no interior da câmara.

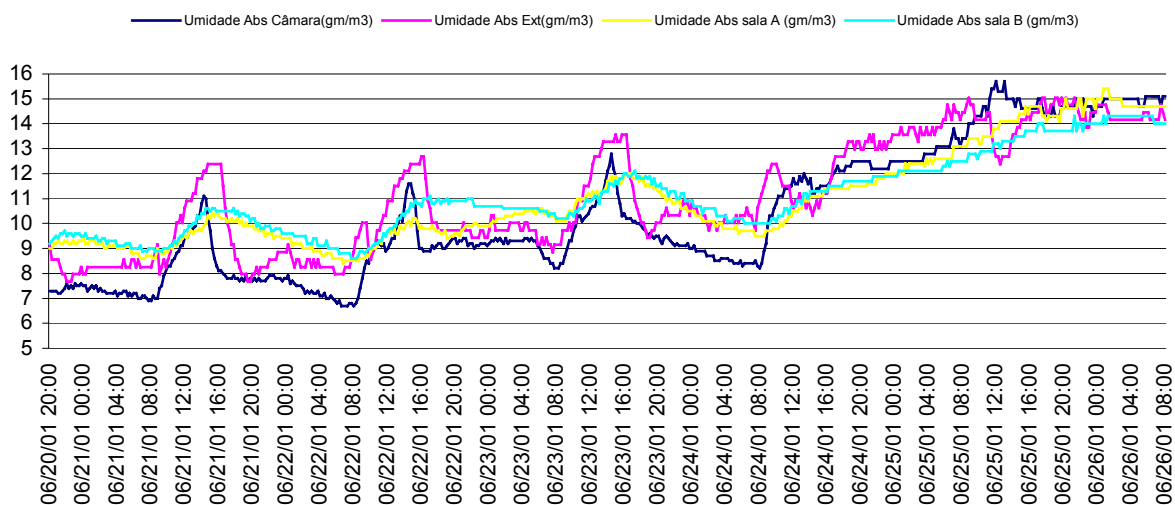


Figura 9 – Umidades absolutas(g/m^3):S1-ponto médio da câmara pouco ventilada, S2-exterior,S3-Interior sala A, S4-Interior da sala B.

Tabela 4 – Máximas e mínimas diárias das umidades absolutas (g/m^3) na condição de verão: S1-no ponto médio da câmara pouco ventilada, S2-Exterior, S3-Interior da sala A, e S4-Interior da sala B.

Umidade absoluta (g/m^3)	Câmara de ar	Ext.	Sala A	Sala B
Média das máximas diárias	12,5	13,0	12,2	12,2
Média das mínimas diárias	8,3	8,8	10,0	10,1

4.3 Análise das temperaturas na fachada muito ventilada

Nesta etapa foi incrementado o grau de ventilação da câmara de ar com aumento de perfurações alcançando a condição de câmara de ar muito ventilada de acordo com o Projeto de Norma do Comitê Brasileiro de Construção (CB-02, 1998). A ventilação da parede externa da fachada oeste da sala B é de $S/L = 505 \text{ cm}^2 / \text{m}$, dividida igualmente na base e na extremidade superior da mesma parede. O gráfico da figura 9 mostra os valores de temperatura no período de 27 de junho à 13 de julho. Neste gráfico pode-se observar que as temperaturas mínimas ocorridas na câmara interna durante à noite são semelhantes às temperaturas externas, devido ao elevado grau de ventilação. Entretanto este resfriamento das câmara interna na afetou o desempenho térmico do ambiente interior da sala com parede muito ventilada pois como pode-se observar na tabela 5 os valores mínimos de temperatura das duas salas apresentam uma diferença de apenas $0,1^\circ\text{C}$.

O comportamento das temperaturas no interior das câmara muito ventilada é similar ao desempenho da fachada com câmara pouco ventilada, ocorrendo a elevação das temperaturas no ponto superior da câmara de ar somente quando incide a radiação solar na mesma conforme mostra a figura 11.

Tabela 5 - Temperaturas máximas diárias nos ambientes interiores e exterior na situação de verão na condição com câmara de ar muito ventilada.

Temperaturas $^\circ\text{C}$	Câmara de ar			Ext.	Sala A	Sala B
	H=0,1	H=1,1	H=2,1			
Média das máx. diárias	21	20,73	22,43	21,71	19,8	19,15
Média das min. diárias	14,41	14,52	14,79	14,57	15,77	15,88

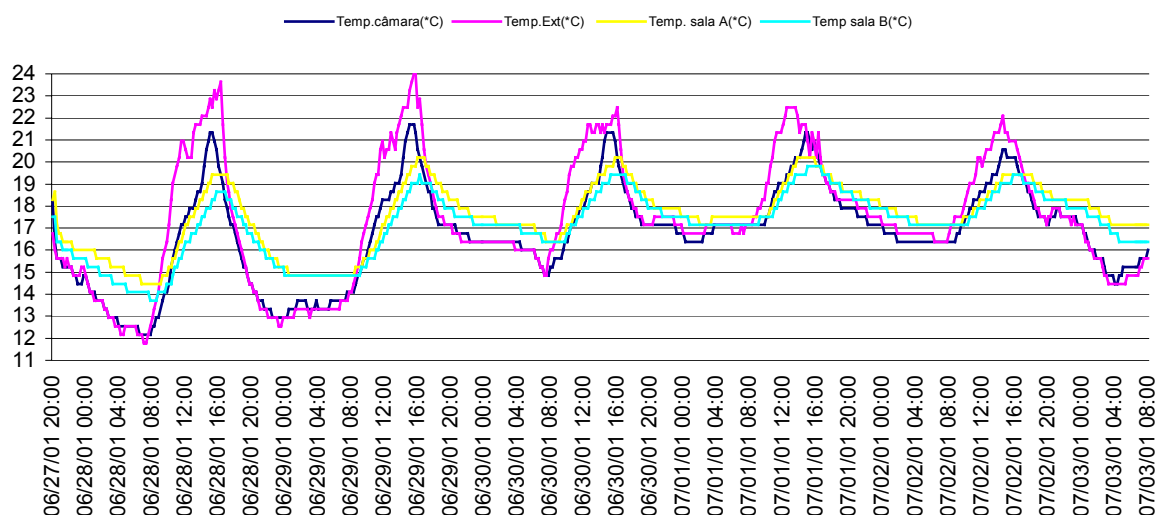


Figura 10-Temp.°C: S1-no p. médio da câmara de ar, S2-Exterior, S3-Interior sala A, S4-Interior sala B.

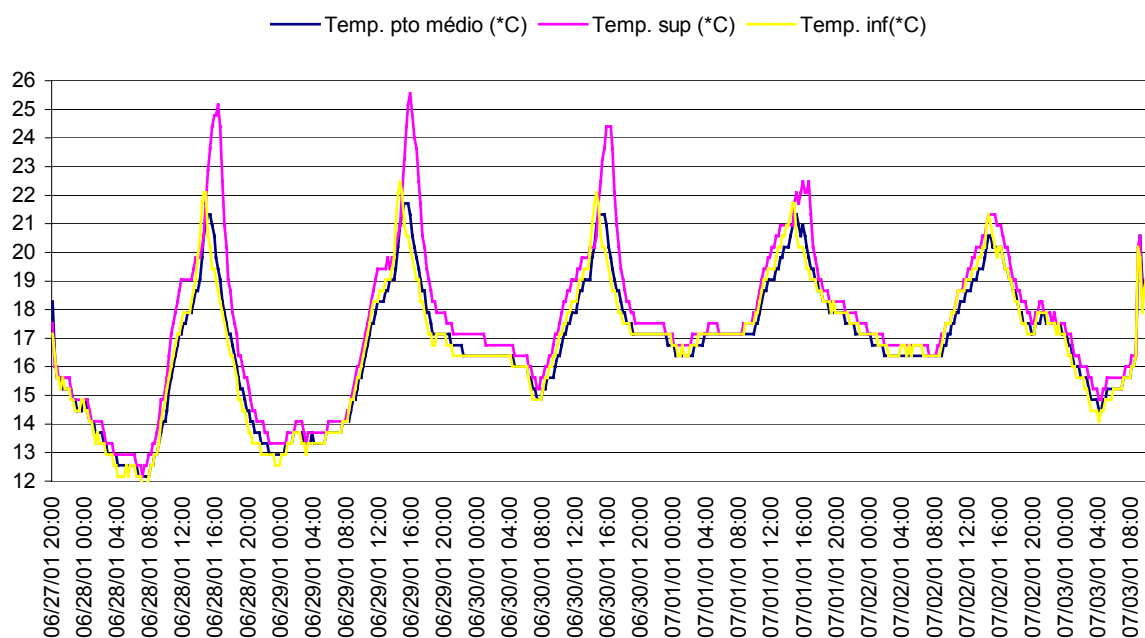


Figura 11 – Temperaturas em °C nos ambientes: S1-ponto médio da câmara de ar, S2-ponto inferior a 10cm da base, S3-ponto superior a 210 cm de altura.

4.4 Análise da umidade absoluta na fachada muito ventilada

Na figura 12 observa-se que as variações das umidades absolutas no interior da câmara muito ventilada são semelhantes às variações das respectivas umidades externas devido à intensas trocas de ar entre estes dois ambientes. As variações da umidade absoluta nos ambientes das duas salas não apresentam diferenças significativas entre si, com amplitudes de valores mais reduzidas que aos valores do ambiente externo, conforme mostra a tabela 6.

Tabela 6 – Máximas e mínimas diárias das umidades absolutas (g/m^3) na condição de verão:

Umidade absoluta (g/m^3)	Câmara de ar	Ext.	Sala A	Sala B
Média das máximas diárias	13,8	14,0	13,8	14,0
Média das mínimas diárias	10,8	10,6	11,9	12,2

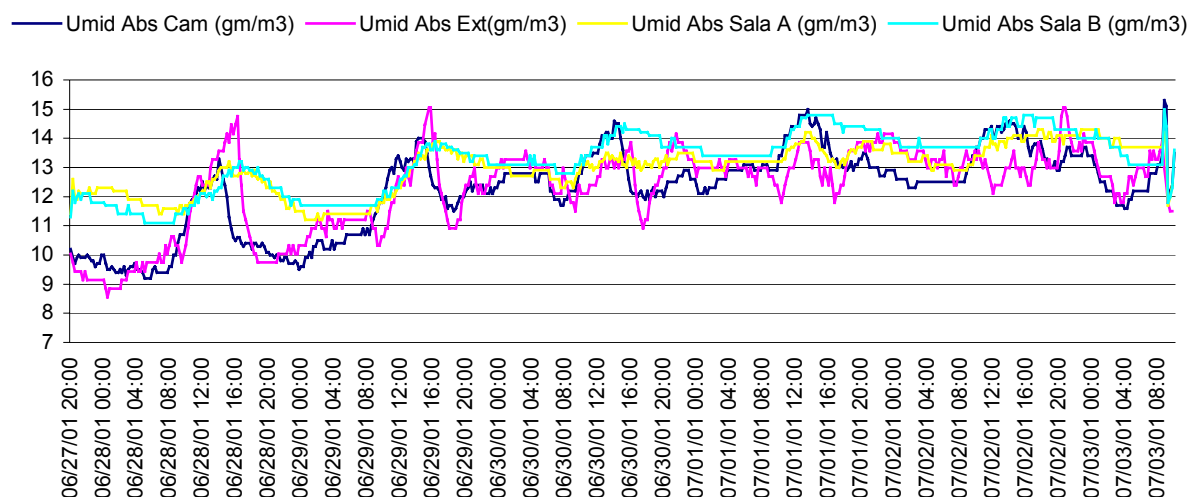


Figura 12 – Umidade absoluta (g/m^3): S1 – no p.médio da câmara de ar muito ventilada, S2 – Exterior, S3 – Interior sala A, e S4 – Interior sala B

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Considerações sobre as temperaturas

O desempenho térmico no interior das salas A e B com fachadas oeste duplas não ventiladas mostraram-se muito similares. A temperatura da câmara de ar da fachada oeste tende a acompanhar as temperaturas do ambiente externo, sendo ligeiramente superior quando ocorrem as temperaturas máximas diárias, entre 15-16hs, e também durante as madrugadas. Isto evidencia que a câmara de ar não ventilada atua como um armazenador de calor, aumentando as temperaturas nos pontos de mínimos e máximos e provocando um atraso térmico de aproximadamente 1h.

A radiação solar incidente na fachada oeste faz com que as temperaturas no ponto superior da câmara de ar não ventilada superem em 4°C as temperaturas dos pontos médio e inferior da mesma por volta das 15-16hs, devido a impossibilidade de saída ou renovação do ar na câmara. As temperaturas no interior da sala A cuja fachada é pouco ventilada não diferiu significativamente das temperaturas da sala B cuja fachada oeste permaneceu com a fachada dupla sem ventilação. No entanto, as temperaturas no interior da câmara de ar da fachada pouco ventilada já não superaram as temperaturas exteriores durante o período crítico entre 15-16hs, estando aproximadamente 1°C abaixo das temperaturas máximas externas. Isto pode ser explicado pelo aumento do processo de convecção natural com conseqüente renovação do ar da câmara e rebaixamento de suas temperaturas máximas. De outra parte, as temperaturas mínimas ocorridas na câmara de ar pouco ventilada durante a madrugada não apresentaram significativas alterações quando comparadas com a fachada não ventilada, indicando que praticamente não ocorre o fenômeno de convecção durante à noite e que as perfurações na camada externa da fachada não produzem movimentação do ar que está em repouso.

Na fachada muito ventilada as temperaturas dos ambientes internos não apresentaram alterações significativas e as temperaturas máximas ocorridas no interior da câmara de ar mantiveram cerca de 1°C abaixo das temperaturas externas conforme indica a tabela 7. Entretanto as temperaturas mínimas ocorridas no interior da câmara de ar durante a madrugada foram aproximadamente iguais às temperaturas mínimas externas. Isto faz com que a fachada muito ventilada aumente a perda de calor do ambiente interno para a câmara de ar cuja temperatura aproxima-se da temperatura externa, tornando-a menos indicada para situações de invernos rigorosos.

Tabela 7 - Média das temperaturas máx. e min. diárias na situação de verão.

Temperatura (°C)		Câmara de ar	Exterior	Sala A	Sala B
Parede dupla não ventilada	Média máx. diárias	22,61	22,48	19,99	19,23
	Média min. diárias	12,44	11,98	14,45	14,51
Parede dupla pouco ventilada	Média máx. diárias	18,7	19,75	18,13	17,75
	Média min. diárias	11,51	10,77	13,85	13,79
Parede dupla muito ventilada	Média máx. diárias	20,73	21,71	19,8	19,15
	Média min. diárias	14,52	14,57	15,77	15,88

5.2 Considerações sobre as umidades

Na fachada não ventilada, observou-se um surpreendente aumento do conteúdo de umidade absoluta no interior da câmara de ar nos períodos entre 15-16hs, devido provavelmente à incidência da radiação solar na camada externa da vedação de madeira que provocou uma liberação de vapor de água no interior da câmara.

Na fachada pouco ventilada ocorreu um aumento da umidade absoluta neste mesmo período do dia, sem no entanto, superar o conteúdo de umidade absoluta do ambiente externo, pois as aberturas de ventilação aumentaram a transferência do vapor de água para o ambiente externo. As umidades absolutas nos ambientes internos apresentaram amplitudes de variações inferiores às variações da umidade exterior, sinalizando que as fachadas assim como as demais envoltentes, atuam como elementos controladores da passagem de vapor de água que atenuam as variações de umidades absolutas nos ambientes internos.

Na fachada muito ventilada as umidades absolutas no inteiro da câmara de ar são semelhantes às umidades absolutas do ambiente externo visto que as diferenças entre os valores máximos e mínimos diários são da ordem de 0,2g/m³, como pode-se observar na tabela 8.

Tabela 8 - Média das umidades absolutas máx.e min. diárias nos interiores e exterior na situação de verão.

Umidade Absoluta (g/m ³)		Câmara de ar	Exterior	Sala A	Sala B
Parede dupla não ventilada	Média máx. diárias	17,5	13,3	13,7	12,7
	Média min. diárias	8,6	9,8	10,9	10,7
Parede dupla pouco ventilada	Média máx. diárias	12,5	13,0	12,2	12,2
	Média min. diárias	8,3	8,8	10,0	10,1
Parede dupla muito ventilada	Média máx. diárias	13,8	14,0	13,8	14,0
	Média min. diárias	10,8	10,6	11,9	12,2

5.3 Considerações sobre o desempenho higro-térmico

As fachadas analisadas atuaram como elementos condicionadores do desempenho higro-térmico, apresentando uma dinâmica na troca de calor entre o ambientes externos e internos e também na transferência de vapor de água através da porosidade aberta das vedações. As fachadas Oeste recebem uma radiação solar quase perpendicular ao seu plano que coincidem com os períodos onde as temperaturas do ar estão mais elevadas. No estudo de caso, este fenômeno produziu aumento das temperaturas nos ambientes internos e mais acentuadamente na câmara de ar interna fazendo com que a ventilação atenuar o rigor térmico durante o período da tarde.

De outra parte, as aberturas de ventilação da câmara de ar pouco ventilada não prejudicaram o desempenho térmico da vedação no período noturno. Como conclusão pode-se recomendar a

fachada pouco ventilada para melhorar o desempenho térmico durante os períodos críticos onde ocorrem as temperaturas máximas e também por evitar perdas significativas de calor durante a madrugada.

As umidades absolutas observadas nos ambientes internos foram bastante elevadas, com grandes oscilações e inversões no sentido da transferência de vapor de água através das vedações conforme pode ser observada na figura 13. Esta umidade permitiu, inclusive, o surgimento de microorganismos (mofo) na face interna das vedações no período em que as salas estiveram fechadas para medições.

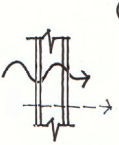
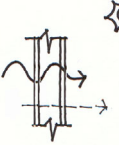
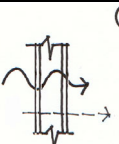
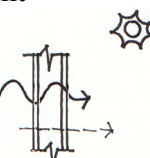
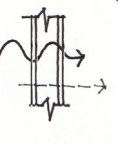
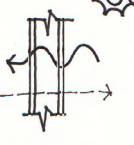
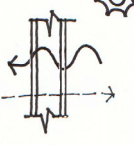
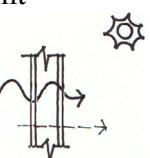
	fluxo de calor		passagem de vapor de água	
	20 - 7h	8 - 12h	12 - 16h	16 - 20h
Fachada dupla não vent.	 Int	 Int	 Int	 Int
Fachada dupla pouco vent	 Int	 Int	 Int	 Int
Fachada dupla muito vent.	 Int.	 Int	 Int	 Int

Figura 13 – Fluxo de calor e passagem de vapor de água nas vedações analisadas em função das horas

6. REFERÊNCIAS

- BARTH; F. The higo-thermal performance of ventilated facade in a hot humid climate. Proceedings of the PLEA 2001 Conference. Florianópolis. 2001.
- GOULARTH; D. et ali.Dados Bioclimáticos para Projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras. Eletrobrás- UFSC. Florianópolis. 1998.
- ABNT. Projeto de Norma Brasileira: Desempenho Térmico dos Edifícios. Comitê Brasileiro de Construção Civil CB-02. 1998.