

## **AVALIAÇÃO DE ESTRATÉGIAS PASSIVAS EM EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS EM BRASÍLIA**

**Alexandra A. MACIEL (1), Roberto LAMBERTS (2)**

(1) LabEEE- Laboratório de Eficiência Energética em Edificações  
Departamento de Engenharia Civil / UFSC

(2) LabEEE- Laboratório de Eficiência Energética em Edificações  
Departamento de Engenharia Civil / UFSC

Universidade Federal de Santa Catarina, caixa postal 476, Florianópolis – SC- 88040-900, Brasil

Tel: +55 48 3315185

Email: (1) [xanda@labeee.ufsc.br](mailto:xanda@labeee.ufsc.br) Email:, (2) [lamberts@ecv.ufsc.br](mailto:lamberts@ecv.ufsc.br)

### **1 RESUMO:**

O presente trabalho é uma avaliação experimental da eficiência de estratégias passivas aplicadas a um edifício de escritórios na cidade de Brasília, de clima Tropical de Altitude, segundo classificação de Köppen. O edifício sede da Câmara Legislativa Distrital foi selecionado por apresentar soluções arquitetônicas apropriadas aos condicionantes climáticos locais, além de potencial para implementação de estratégias passivas. Foram avaliados sistemas como resfriamento evaporativo, isolamento térmico da cobertura e ventilação natural. Estes sistemas foram aplicados a salas do edifício e os dados medidos, entre fevereiro e junho de 2001, de temperatura e umidade relativa horários foram comparados com salas não modificadas. Os sistemas de resfriamento evaporativo e o isolamento térmico da cobertura com as telhas pintadas de branco demonstraram o melhor desempenho para a redução do desconforto térmico por calor. Esses resultados demonstram que é possível alcançar condições de conforto térmico favoráveis em Brasília através do uso de estratégias passivas, mesmo em edifícios com carga interna relativamente alta.

### **2 ABSTRACT**

This research is an experimental evaluation of passive cooling strategies indicated to Brasilia's climate (Tropical Upland as Köppen classification) in an office building. The building design of Federal District Legislative Chamber shows a clear concern to the local climate and a good potential to bioclimatic strategies application. Each one of the evaluated strategies was applied to one of the building rooms. The measured data of dry bulb temperature and relative humidity, in February to June of 2001, was compared with data of no modified rooms. The comparison showed the good potential of the applied strategies and the better results of the evaporative cooling system and the roof thermal insulation with white color sheet to reduce hot discomfort in the building. These results show that it is possible to achieve favorable internal conditions through passive systems with less energy consumption in Brasilia's climate, even in a building with high internal gains.

### **3 INTRODUÇÃO**

Numa época em que o planeta vive uma crise de energia, a busca pelo seu melhor aproveitamento é papel de todos os profissionais. Em relação às edificações, para diminuição do consumo energético, a adequação do padrão arquitetônico é o item que exige menores investimentos, e proporciona uma das maiores economias de energia. Segundo a ELETROBRÁS (1999), “com a implantação de medidas para redução do consumo de energia em prédios já existentes (retrofit), o consumo pode ser reduzido em aproximadamente 30%. Em prédios já projetados dentro do conceito de eficiência energética, a economia pode chegar a 50%”.

Os processos de interação do clima com a edificação podem ser explorados pelo projetista através da arquitetura bioclimática, que é baseada na correta aplicação de elementos arquitetônicos e tecnologias construtivas (sistemas passivos) para um menor consumo de energia, otimizando o conforto de seus ocupantes. Observa-se que a maioria dos estudos de eficiência energética existente está voltada para edifícios condicionados, além disso, as pesquisas têm-se baseado principalmente em resultados de

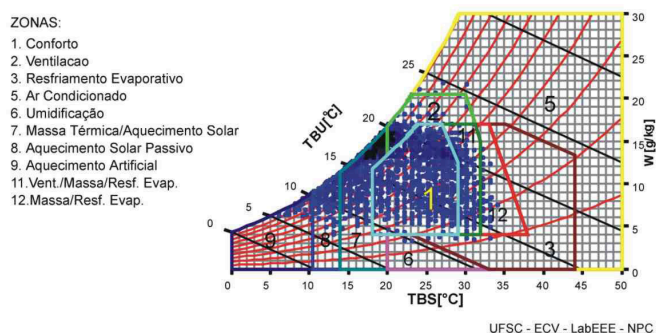
simulação computacional. Porém, em condições reais de uso as formas de atuação de possíveis estratégias adotadas podem ser totalmente alteradas, principalmente em edifícios caracterizados por uma elevada geração de calor interna, como edifícios comerciais ou de escritório.

Portanto, é observada a importância da avaliação experimental de diferentes estratégias para a validação de sua performance em condições reais de uso. Por essa razão o presente estudo, parte de dissertação de mestrado defendida por MACIEL (2002), realiza uma avaliação experimental de edifício de escritórios não condicionado com características apropriadas ao clima Tropical de Altitude e com potencial para implementação de sistemas passivos. Também foi realizada uma avaliação bioclimática baseada em dados climáticos recentes de 1982 a 1997, para a identificação de quais estratégias seriam mais apropriadas para a avaliação de acordo com o clima da região. Devido às restrições de página o presente artigo apresentará apenas a parte que trata do estudo de caso.

## 4 O EXPERIMENTO

### 4.1 Caracterização da Edificação

Para a determinação das estratégias mais indicadas para o clima de Brasília foi realizada uma análise bioclimática de dados climáticos associados a diagramas de conforto. Foram utilizados dados do Ano Climático de Referência (Test Reference Year –TRY) determinado segundo metodologia descrita por STAMPER (1977) a partir do período de 1982 a 1997. Os métodos de análise bioclimática utilizados foram a Carta Bioclimática de Edificações de GIVONI (1992) adaptada ao clima tropical por GOULART et al (1994) e combinada ao método de WATSON e LABS (1983) por GOULART et al (1997), as Tabelas de Mahoney (KOENIGSBERGER, 1986) e o Diagrama Triângulos de Conforto de EVANS (2000). Com base na análise comparativa dos resultados obtidos, apresentada detalhadamente por MACIEL (2002), foram indicadas as seguintes estratégias: -Resfriamento Evaporativo; -Ventilação Natural; -Inércia Térmica para resfriamento e aquecimento; -Sombreamento; -Aquecimento Solar Passivo associado à elevada Inércia Térmica interna das Paredes; -Orientação norte sul do maior eixo; -Construções Compactas e -Isolamento da Cobertura com Baixa Inércia. Na Figura 4.1-1 e na Tabela 1 observam-se a distribuição dos dados de temperatura e umidade sobre o Diagrama de GIVONI (1992) e seus percentuais, respectivamente.



UFSC - FCV - LabEEE - NPC

**Figura 4.1-1 – Carta Bioclimática de Edificações- TRY (1987).**

A atual sede da Câmara Legislativa do Distrito Federal foi selecionada por apresentar características arquitetônicas que vão de encontro à maioria das estratégias indicadas, como a orientação norte-sul, sombreamento através de extensos beirais e cortina de vegetação na fachada (Figura 4.1-2) e uso de sistema inovador de renovação de ar por diferença de temperatura. Neste sistema o ar penetra através de aberturas no piso e o ar aquecido no interior é liberado para o exterior por divisórias duplas passando pelo centro da cobertura como demonstrado na Figura 4.1-3. Além disso, também foi utilizado pátio interno, com vegetação de grande porte e pérgulas verticais que tornam o espaço permeável à passagem dos ventos, mantendo a segurança interna (ver Figura 4.1-4). O edifício está localizado em região de baixa densidade urbana na extremidade da Asa Norte do Plano Piloto de Brasília, em área plana, bastante aberta aos ventos. Um outro importante condicionante para a seleção do objeto de estudo foi a não existência de condicionamento artificial para que houvesse a possibilidade de testar o desempenho de estratégias passivas ou de baixo custo energético de condicionamento.

**Tabela 1 – (%) Confort e Desconforto**

Conforto			41,2
Disconforto	Calor	2	21,2
		3	8,38
		12	8,29
	Frio	5	0,08
		7	31,3
	8	4,37	
	9	0,993	
Sombra			60,1



Figura 4.1-2 Fachada principal do edifício

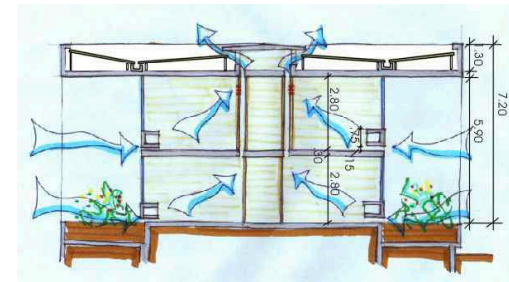


Figura 4.1-3 Corte esquemático de um dos blocos

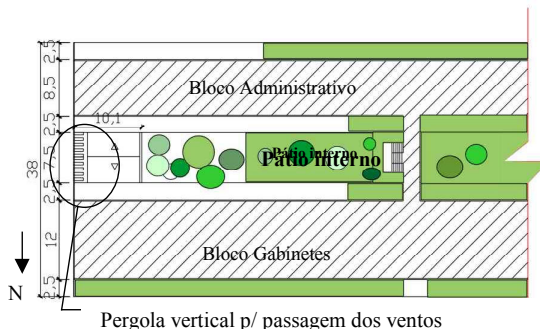


Figura 4.1-4 Trecho do Edifício (pátio interno e localização da vegetação)

## 4.2 Ambiente Monitorados e Estratégias Implantadas

Foram monitoradas quatorze salas do edifício, seis delas no térreo e oito no primeiro andar, como destacado na Figura 4.2-1 e na Figura 4.2-2. Os sistemas implantados foram um sistema de resfriamento evaporativo direto por microaspersão, isolamento térmico da cobertura com poliuretano jateado, a pintura branca das telhas de cimento amianto e a verificação da influência do sistema existente de renovação de ar através do fechamento das aberturas. Além disso, procurou-se avaliar a influência do pátio interno e da vegetação sobre o conforto térmico.

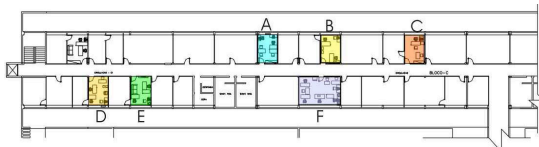


Figura 4.2-1 Planta baixa Bloco B, térreo.

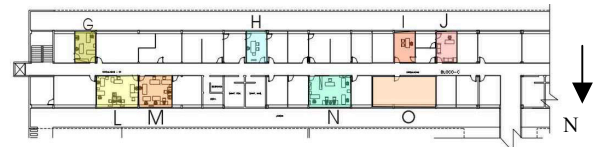


Figura 4.2-2 Planta baixa Bloco B, primeiro andar

As salas selecionadas apresentam as mesmas características físicas, padrão de uso, mobiliário e equipamentos. Para cada orientação e pavimento foram mantidas salas não modificadas (D, I, L, O, C em um primeiro momento e B na ultima etapa de medições) como base comparativa.

O sistema de resfriamento evaporativo direto por microaspersão, implantado nas salas A, F, H e N, foi automatizado através de painel gerenciador (Figura 4.2-4) que acionava o sistema de acordo com parâmetros medidos por sensor na sala N. A temperatura interna medida pelo sensor era o parâmetro para acionar o sistema e a umidade relativa era o parâmetro para seu desligamento. Esses parâmetros foram sendo ajustados ao longo do experimento, de acordo com a resposta dos usuários. Na Figura 4.2-3 é possível observar um desenho esquemático do sistema instalado.

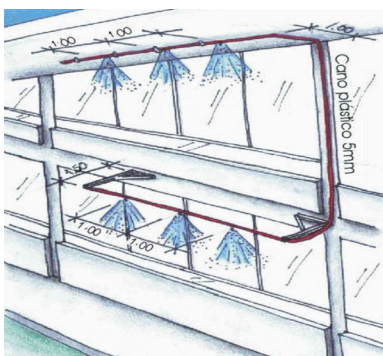


Figura 4.2-3 Resfriamento evaporativo na fachada.



Figura 4.2-4 Painel gerenciador

O isolamento térmico com espuma rígida de poliuretano jateado foi aplicado sobre a cobertura da sala G (Figura 4.2-5). No dia 5 de maio de 2001 as telhas de cimento amianto da cobertura da sala G foram pintadas com tinta acrílica branca (Figura 4.2-6). Dessa forma, é possível observar o efeito da cor branca comparando os dados medidos antes e após a pintura com os dados da sala base.

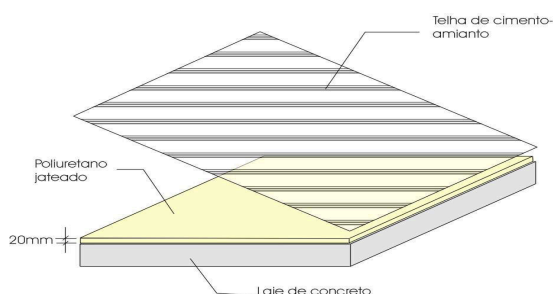


Figura 4.2-5 Aplicação do poliuretano.



Figura 4.2-6 Pintura das telhas na sala G

Nas salas B, C, E e J foi feita a vedação do sistema existente de renovação de ar, com fita plástica. Foram fechadas as aberturas localizadas embaixo dos armários de concreto da fachada e as aberturas de saída do ar localizadas no teto rente às divisórias no térreo, e as grelhas nas divisórias do 1º andar.

### 4.3 Coleta e análise de dados

Para a análise comparativa das salas foram analisados dados horários de temperatura de bulbo seco registrados no interior das salas, entre os dias 8 de fevereiro e 15 de junho, caracterizando os períodos quente e úmido (fevereiro a abril) e seco de inverno (maio e junho). Devido ao número reduzido de sensores de umidade relativa (3), esta variável foi registrada em períodos curtos de medição, havendo uma troca de sala a cada 5 dias. Foi realizada a análise comparativa dos dados de salas modificadas e não modificadas do mesmo pavimento e fachada, através de valores horários, máximas e mínimas, médias diárias e mensais, verificando percentuais de conforto de acordo com limites da carta de GIVONI (1992). Os dados medidos internamente também foram comparados com dados de TBS medidos nas áreas externas do prédio e com os dados de TBS e UR externos registrados pela estação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Para verificação da eficiência das estratégias em relação à resposta térmica dos usuários, também foram avaliados dados de sensação térmica coletados através de questionários, distribuídos nas salas selecionadas, elaborados segundo métodos apresentados por GÜNTHER (1999) e ORNSTEIN (1992).

As variáveis ambientais internas de temperatura e umidade foram registradas com data loggers portáteis a 0,75m de altura (Figura 4.3-1). Para as medições externas foram utilizados dois *data loggers*, um localizado no pátio interno e outro na área externa sul. Os sensores externos ficaram protegidos em pequenos abrigos sombreados e isolados a 1.60m do piso. A Figura 4.3-2 apresenta o detalhamento do abrigo.



Figura 4.3-1 Localização do data logger.

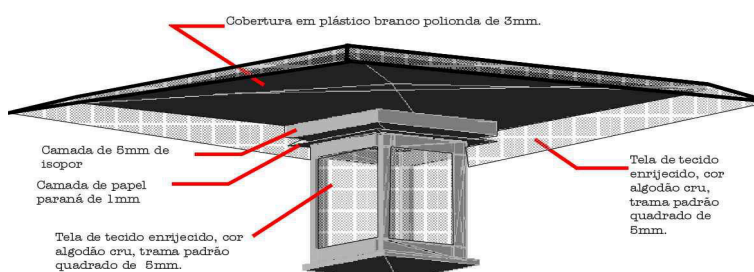


Figura 4.3-2 Detalhamento do abrigo.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste experimento são apresentados resumidamente no presente trabalho em relação a cada uma das estratégias analisadas.

## 5.1 Sensação térmica (questionários)

Em relação à preferência, os usuários indicam, através da escala de sensação térmica utilizada no questionário, limites de conforto térmico entre 23°C e 26°C. Houve uma grande aceitação ao sistema de resfriamento evaporativo e o pátio interno foi indicado pela maioria como ambiente mais agradável termicamente.

## 5.2 Avaliação das condições gerais (Pátio interno, vegetação e orientação)

A Figura 5.2-1 e a Figura 5.2-2 indicam as diferenças existentes em relação às temperaturas médias das máximas dos espaços de transição externos sul e norte (pátio interno) onde se percebe que, até o mês de abril, as temperaturas do pátio eram bem inferiores às externas do lado sul, com uma diferença de até 2,6°C abaixo. Com a poda das árvores existentes no pátio, essa diferença desaparece, demonstrando a importância da presença da vegetação. As temperaturas médias das mínimas do pátio tornam-se superiores a área externa sul a partir de março, com uma diferença crescente que vai de 0,7°C à 1,3°C em junho, demonstrando uma maior conservação de calor no período noturno. As temperaturas médias das máximas das salas do primeiro andar são sempre superiores às temperaturas registradas no térreo indicando os elevados ganhos de calor pela cobertura. Em relação à umidade relativa foram registrados dados externos apenas no mês de maio, onde não foram identificadas diferenças significativas entre as duas áreas externas.

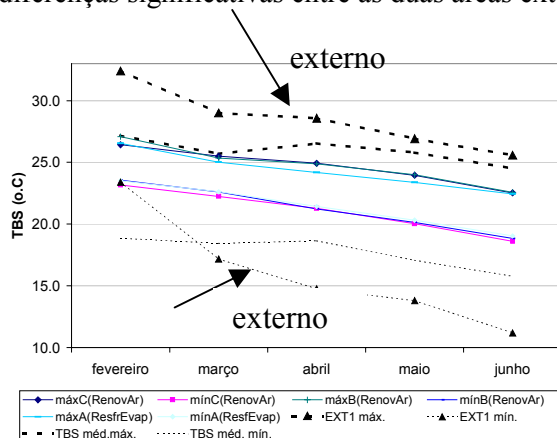


Figura 5.2-1 Temperatura média das máx. e mín.-térreo sul.

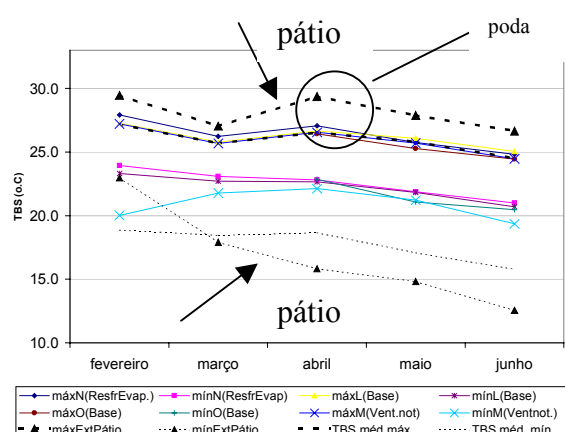
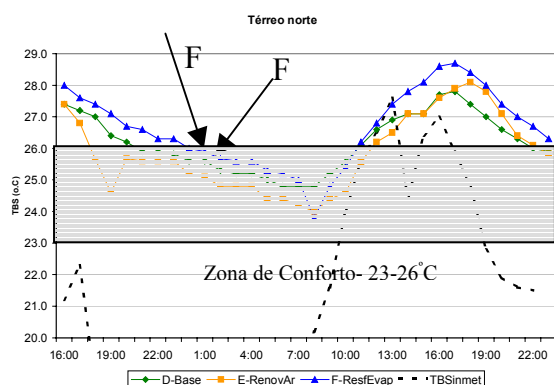


Figura 5.2-2 Temperatura média das máx. e mín.-1º andar norte

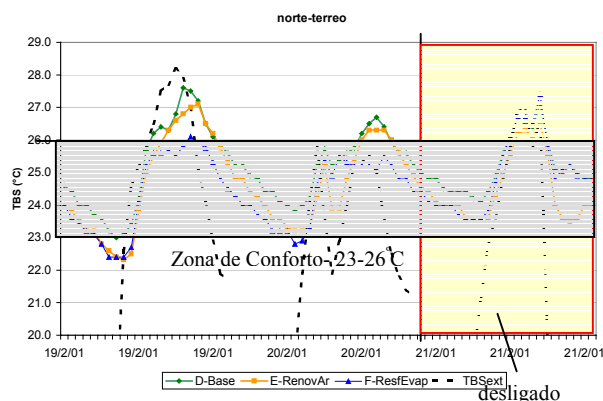
## 5.3 Avaliação do sistema de resfriamento evaporativo

Em relação aos resultados é importante salientar que os limites estabelecidos nos parâmetros de acionamento do sistema procuraram apenas enquadrar as condições internas dentro da zona de conforto térmico e, portanto, não serão observadas, nos resultados obtidos, reduções significativas das temperaturas destas salas. Os parâmetros limite foram sendo ajustados ao longo do experimento, chegando a uma temperatura de acionamento de 26,5°C e umidade relativa de 65% para desligamento, de acordo com o nível de aceitação dos usuários. A Figura 5.3-1 e Figura 5.3-2 ilustram o efeito do sistema de resfriamento evaporativo no térreo interno através dos dados de TBS horária. Observa-se que a sala F apresenta temperaturas superiores às demais salas, desta fachada e pavimento antes da instalação do sistema, entre 0,4°C e 1°C acima. Com o funcionamento do sistema, a partir de 15 de fevereiro, as temperaturas máximas apresentam sensível diminuição, ficando abaixo das demais salas comparadas em cerca de 1 a 1,5°C. Observa-se a elevação da temperatura nos momentos em que o sistema é desligado, como no dia 21 de fevereiro.

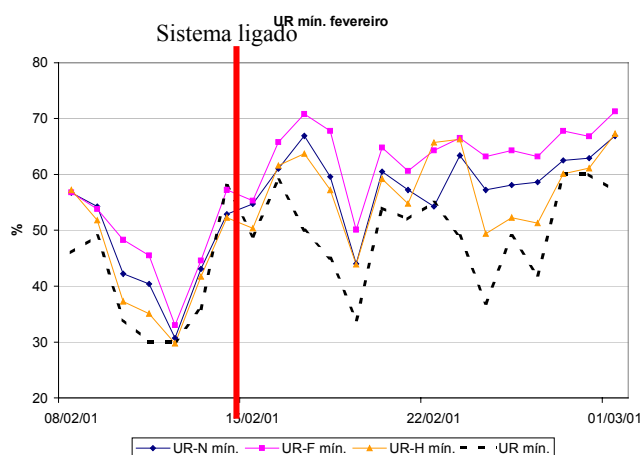
Na Figura 5.3-3 é apresentado o comportamento da umidade relativa interna das salas sob influência do resfriamento evaporativo. Com o início do funcionamento do sistema de resfriamento evaporativo, é registrado um aumento de até 28% da umidade relativa nas salas com o sistema em relação à umidade relativa externa, durante o pico de temperatura diurno.



**Figura 5.3-1** Temperatura interna antes do funcionamento do sistema. 8 à 9/2/01



**Figura 5.3-2** Temperatura interna após o funcionamento do sistema. 19 à 21/02/01.

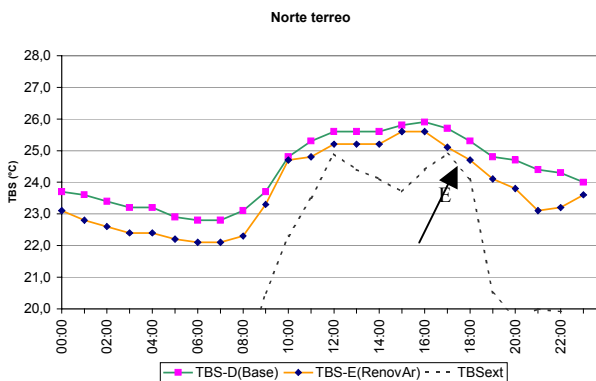


**Figura 5.3-3** Elevação da Umidade Relativa, com sistema funcionando.

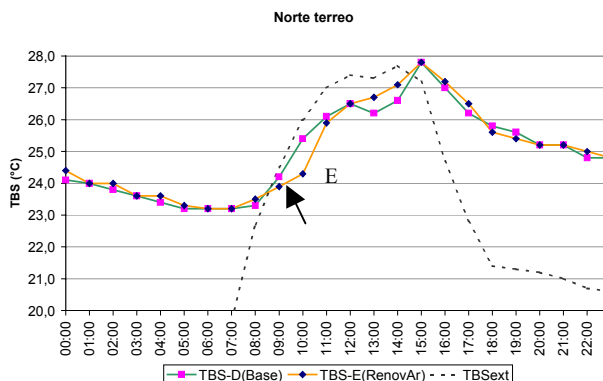
### 5.4 Avaliação das aberturas para renovação de ar

Observa-se que a abertura existente para a renovação do ar interno exerce uma pequena influência sobre a temperatura interna do ar no edifício, principalmente no período noturno. Vale salientar que os ventos predominantes durante todo o período de análise foram o Nordeste e o Sudeste.

A Figura 5.4-1 apresenta o comportamento horário da temperatura interna das salas da fachada norte do térreo antes da vedação das aberturas da sala E, e a Figura 5.4-2 aponta a alterações ocorridas nas temperaturas internas após a vedação em relação a sala D. Com a vedação das aberturas existentes na sala E, a elevação da temperatura interna diurna aumenta cerca de 0,4°C. Também é possível perceber uma maior elevação da temperatura interna no período noturno, entre 0,6°C e 1,3°C.



**Figura 5.4-1** Salas antes da vedação das aberturas p/ renovação de ar. Dia 01/03



**Figura 5.4-2** Sala E após vedação das aberturas existentes, (dia 02/03 à tarde). Dia 8/03.

### 5.5 Avaliação do isolamento térmico e cor branca na cobertura

A Figura 5.5-1 apresenta as temperaturas médias diárias da fachada sul do primeiro andar, onde é feito

o isolamento da laje de cobertura da sala G. Com o isolamento térmico da laje da cobertura da sala G, a partir de 19 de fevereiro, percebe-se uma redução da temperatura interna em cerca de 1°C, abaixo das salas H e J, apenas nos finais de semana ou feriados, quando a sala não está ocupada. Este comportamento indica a influência dos ganhos de calor interno sobre a temperatura interna das salas. No período noturno há uma maior conservação de calor na sala com o isolamento térmico, elevando as temperaturas mínimas da sala G, independente da ocupação, em até 0,8°C. Entre os dias 3 e 4 do mês de maio as telhas, de cimento amianto, da cobertura da sala G foram pintadas de branco. Verifica-se que após a pintura, a temperatura interna da sala G apresenta redução na temperatura máxima interna, em relação às demais, inclusive durante os períodos de ocupação. Na Figura 5.5-2 observam-se as temperaturas internas na fachada sul do primeiro andar após a pintura branca das telhas de cobertura da sala G. Durante a semana (sala ocupada) as temperaturas da sala G passam a níveis similares aos da sala H, sob efeito do resfriamento evaporativo.

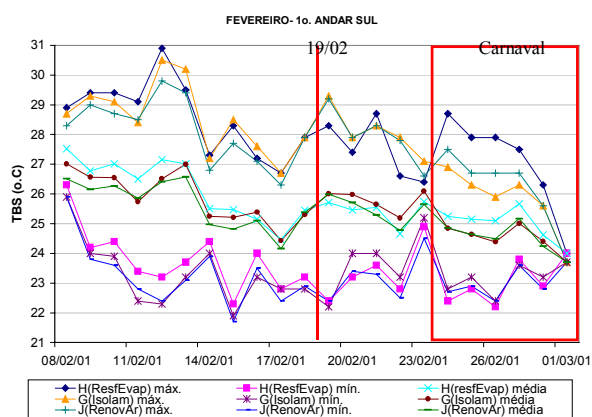


Figura 5.5-1 Temperatura da sala após o isolamento da laje, 19/02.

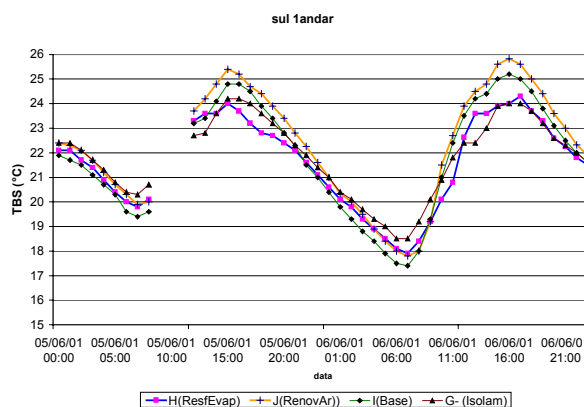


Figura 5.5-2 Alteração das temperaturas internas sala G com isolamento e pintura branca.

## 6 CONCLUSÕES

Com o estudo de caso realizado no edifício da Câmara Legislativa do Distrito Federal verificou-se o bom desempenho em relação ao conforto térmico de algumas das estratégias bioclimáticas de projeto indicadas para Brasília, em situação real de uso de um edifício de escritórios.

Através da análise dos dados observou-se que o pátio interno proporcionou um microclima diferenciado, sendo um dos locais indicados como mais agradável pelos funcionários. Apresenta temperaturas máximas inferiores à área externa, à sul do edifício, com diferenças de até 2,9°C. A presença de vegetação dentro do pátio demonstra sua influência sobre a temperatura, quando após a poda das árvores no mês de abril, as temperaturas máximas no pátio passam a ficar equivalentes às temperaturas na área externa sul. No pátio também há uma maior conservação de calor no período noturno, demonstrada pelas temperaturas mínimas mais elevadas (0,7 à 1,3°C acima).

O sistema de resfriamento evaporativo implantado no edifício (direto por microaspersão) atuou na redução do pico de temperatura diurno das salas sob sua influência, conseguindo manter as temperaturas das salas do primeiro andar abaixo dos 27°C e das salas do térreo abaixo dos 26°C, mantendo assim a temperatura interna dentro do nível de aceitação dos usuários. Observa-se uma redução do pico de temperatura entre 1,4°C a 2,5°C em relação as demais salas do mesmo andar e fachada. Quanto à umidade relativa interna é registrado um aumento de até 28%, em relação à umidade relativa externa, nas salas com o sistema, durante o pico de temperatura diurno.

O isolamento térmico da cobertura não produziu efeito significativo sobre a temperatura interna, nos períodos com a sala G ocupada. Esta situação demonstra que os ganhos de calor internos do prédio exercem uma influência considerável sobre a temperatura interna. Apenas após a pintura branca das telhas de cobertura, a temperatura interna ficou abaixo das salas I e J, ou semelhante à sala H (com resfriamento evaporativo), mesmo com a sala ocupada. Nessa situação foram registradas reduções de até 2°C no pico de temperatura. O efeito conjunto destas duas estratégias faz com que esta sala apresente, a partir de maio, os menores percentuais de desconforto, tanto por calor quanto por frio, devido à elevação das temperaturas mínimas, cerca de 0,8°C, provocada pela aplicação do isolante

térmico.

Em determinados casos a vedação das aberturas para renovação de ar contribuiu para uma pequena elevação das temperaturas internas, principalmente noturnas, entre 0,6 e 1,3°C. Vale salientar que a solução aplicada para renovação do ar na proposta do prédio não é a solução ideal, sendo muito mais eficiente o uso de ventilação cruzada, por exemplo. Porém, como na maioria dos edifícios de escritório no Brasil a ventilação cruzada é impedida pela utilização de divisórias internas vedadas, o sistema de renovação de ar existente apresenta-se como uma alternativa para esta situação.

Foi possível observar que as estratégias implantadas no sentido de minimizar o desconforto por calor demonstraram uma influência evidente nas condições de conforto internas, confirmando as indicações identificadas através dos diagramas bioclimáticos. As melhores respostas foram obtidas através das estratégias de resfriamento evaporativo e o isolamento térmico da cobertura juntamente com a pintura branca das telhas. Dessa forma, configura-se como uma solução bastante viável, na tentativa de ampliar as condições de conforto obtidas, a utilização conjunta do sistema de resfriamento evaporativo e do isolamento da cobertura com cor externa branca e a melhoria das condições de ventilação.

## 7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

**ELETROBRÁS-** Empresa brasileira de energia elétrica, 1999. Endereço da internet: [www.eletrobras.gov.br](http://www.eletrobras.gov.br) (acessado em agosto de 1999).

**EVANS** 'Comfort Triangles' Analysis of temperature variations and design strategies in passive architecture. In: PLEA Conference, Cambridge, UK, p. 556-561, 2000.

**GOULART, S., BARBOSA, M., PIETROBON, C., BOGO, A., e PITTA, T..** *Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico*. Relatório interno- NPC- UFSC, 1994

**GOULART, S., LAMBERTS, R. e FIRMINO, S,** *Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades Brasileiras*, PW ed., São Paulo, dez. 1997.

**GIVONI, B.** *Comfort, climate analysis and building design guidelines*. Energy and Building, vol.18, Amsterdam, 1992.

**GUNTHER, H.** *Como elaborar um questionário*. Cadernos eletrônicos LabPam -Universidade de Brasília. 1999.

**KOENIGSBERGER, O H., INGERSOLL, T.G., MAYHEW, A e SZOKOLAY, S.V.,** *Manual of Tropical Housing*. 4ª edição Nova York, 1980.

**MACIEL, A. A.** *Projeto Bioclimático em Brasília: Estudo de caso em edifício de escritórios*. Dissertação de Mestrado. UFSC. Fevereiro de 2000.

**ORNSTEIN, S.** *Avaliação pós-ocupação do ambiente construído*. Studio Nobel, Edusp, 1992.

**STAMPER, E.** *Weather data*. ASHRAE journal, p. 47, fevereiro de 1977.

**WATSON, D. e LABS, K.** *Climatic Building Design. Energy- efficient building principles and practice*. McGraw- Hill book Company. 1983.