



6 a 8 de outubro de 2010 - Canela RS

**ENTAC 2010**

XIII Encontro Nacional de Tecnologia  
do Ambiente Construído

## **AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE TEMPERATURA INTERNA NA ESTAÇÃO TUBO CENTRO CÍVICO – PALÁCIO IGUAÇU NA CIDADE DE CURITIBA**

**Suellen Assad Heisler (1); Eduardo L. Krüger (2)**

(1) Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho, Departamento Construção Civil,  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Av. Sete de Setembro, 3165. Curitiba, PR.

E-mail: suellenah@hotmail.com

(2) Prof. Dr., Departamento Construção Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Civil, UTFPR. E-mail: ekruger@utfpr.edu.br

### **RESUMO**

Este trabalho teve como principal objetivo a análise do conforto térmico no interior da Estação Tubo Centro Cívico – Palácio Iguaçu, da linha de ônibus Inter II na cidade de Curitiba. Esta estação tubo foi ampliada recentemente e recebeu a instalação de um sistema de resfriamento evaporativo, em busca de melhorias nas condições de conforto internas proporcionadas aos seus usuários, sem que para isso fosse afetada a sua arquitetura. Para que a análise fosse possível, foram realizadas medições de parâmetros relevantes nas situações anteriores e posteriores ao seu funcionamento. Ao avaliar os dados obtidos foi constatado que o sistema de resfriamento evaporativo escolhido contribui apenas minimamente, não sendo eficiente para gerar sensação de conforto térmico às pessoas no interior da estação tubo em situação de verão.

Palavras chaves: conforto térmico; estação tubo; resfriamento evaporativo.

## 1 INTRODUÇÃO

A importância do conforto térmico relaciona-se não só à sensação de conforto das pessoas, mas também ao seu desempenho no trabalho e à sua saúde. Isto vale para qualquer ambiente, seja ele dentro de casa, no trabalho, ou até mesmo de passagem como um ponto de ônibus. Pensando nisso, após receber diversas reclamações quanto à sensação de calor no interior das estações tubo, a Urbanização de Curitiba S/A (URBS) resolveu implantar um sistema de resfriamento evaporativo em algumas delas, buscando proporcionar uma sensação de conforto térmico em seu interior, sem que para isso seja alterado o padrão construtivo (tubular) que as caracteriza.

A alternativa encontrada pela URBS para minimizar o problema das altas temperaturas internas em estações tubo, em situação de verão, parece ser adequada, já que viria a beneficiar muitas pessoas além de se utilizar de um sistema semi-passivo de baixo consumo de energia.

O objetivo geral deste trabalho é analisar a situação de conforto térmico dos usuários da Estação Tubo Centro Cívico – Palácio Iguaçu, na cidade de Curitiba, antes e após a instalação do sistema de resfriamento evaporativo. Para isto, busca-se a avaliação da eficiência do sistema de resfriamento evaporativo adotado pela URBS, empresa que gerencia o transporte coletivo em Curitiba, em parceria com o Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC), através da obtenção de parâmetros que possibilitem este estudo.

O resfriamento evaporativo foi o sistema adotado no ambiente posteriormente analisado para proporcionar situação de conforto térmico aos usuários do mesmo. Este sistema consiste na redução da temperatura do ar e na simultânea elevação do conteúdo de umidade através de mecanismos de transferência de calor e massa entre o ar e a água e, embora largamente utilizado em torres de resfriamento de água, lavadores de ar, condensadores evaporativos e resfriadores de líquidos, ainda é pouco explorado e difundido para o conforto térmico humano.

Em relação ao condicionamento do ar para grandes ambientes industriais ou comerciais abertos, envolvendo cargas térmicas elevadas, verificou-se que a utilização de sistemas evaporativos é altamente recomendável, pois estas condições impõem restrições ao uso de sistemas de ar condicionado convencionais e favorecem o uso do resfriamento evaporativo. Outra vantagem do uso de sistemas evaporativos para conforto térmico é o fato de apresentarem baixo consumo de energia comparativamente aos sistemas convencionais e ter instalação, manutenção e operação simples, além de, uma vez que trabalham com a renovação do ar, eliminam a recirculação e a proliferação de fungos e bactérias, problema comum nos aparelhos de condicionamento de ar usuais.

Segundo Lamberts et. al. (1997) é aconselhável a utilização de resfriamento evaporativo apenas quando a temperatura de bulbo úmido máxima não exceda os 24 °C e a temperatura de bulbo seco máxima não ultrapasse os 44 °C no caso de países em desenvolvimento e baseado na carta bioclimática apresentada na Figura 05. Verifica-se que, no ano climático de Curitiba, a TBU máxima não chega a 24°C e a TBS máxima fica em torno de 31°C, havendo assim condições de uso do sistema. Contudo, para que se possa desfrutar de maior eficiência do sistema, tem que haver concomitância entre alta TBS e baixa TBU, caracterizando o que se denomina *wet bulb temperature depression* (KRÜGER; GONZALEZ; GIVONI, 2009).

Os sistemas de resfriamento evaporativo podem ser diretos, que funcionam através da evaporação da água diretamente do ambiente em que se deseja resfriar, ou indiretos, onde o ar se mantém separado do processo de evaporação da água, transferindo apenas calor sensível para uma corrente de ar secundária.

O transporte público foi e continua sendo o principal indutor de crescimento da cidade de Curitiba. O Plano Diretor elaborado e implantado para permitir um crescimento controlado da cidade só foi possível com a construção de uma rede integrada do transporte público para que assim a cidade funcionasse da melhor maneira possível. Para isso não foi adotada nenhuma solução inovadora como bondes ou metrô, sendo realizado apenas o aperfeiçoamento da rede de ônibus já existente (MEURS, 1994).

De acordo com entrevista de Assad, um dos arquitetos responsáveis pelo projeto (LEAL; FIGUEROLA, 2008), “as estações tubo são compostas por anéis estruturais de aço calandrados que sustentam a cobertura de aço e o fechamento lateral em vidro laminado curvo esverdeado”. São elevadas do solo 95 cm, ficando assim no nível dos ônibus, apoiadas em geralmente dois pontos. Cada módulo básico tem 2,75 m de diâmetro e 10,5 m de comprimento e possui elevador acoplado para o acesso de deficientes. Atualmente são aproximadamente 360 estações tubo na Rede Integrada de Transportes.

Atualmente estão sendo ampliadas e reformadas algumas estações tubo em Curitiba. As escolhidas para passar por este processo atendem a linha de ônibus Inter II (Linha Direta – Ligeirinho), a qual possui a maior demanda do sistema de transporte da capital. Isso se deve ao aumento da quantidade de ônibus desta linha, com o acréscimo de uma terceira porta de embarque e desembarque, além de visar à melhoria da distribuição dos usuários no interior da mesma e à climatização interna através da implementação de sistemas de resfriamento evaporativo.

## **2 METODOLOGIA**

A avaliação da melhoria do conforto térmico na estação tubo em questão na cidade de Curitiba, após a instalação do sistema de resfriamento evaporativo, compreendeu a coleta de dados do ambiente avaliado relativamente às variáveis que influenciam na obtenção do conforto térmico após o sistema entrar em operação.

### **2.1 Descrições do Ambiente Avaliado**

A primeira estação tubo a receber este sistema de resfriamento evaporativo diferenciado é a Estação Tubo Centro Cívico – Palácio Iguaçu, da Linha de ônibus Inter II, onde foi avaliada a melhoria de conforto térmico para os usuários da mesma após a instalação do sistema de resfriamento evaporativo. Esta estação pode ser vista na Figura 01.



**Figura 01** - Estação Tubo Centro Cívico – Palácio Iguaçu

Esta estação tubo se localiza na Avenida Cândido de Abreu, no bairro Centro Cívico, em frente ao Palácio da Justiça e a Praça Nossa Senhora de Salete e possui hoje 17 metros de comprimento e 5,65 metros de largura.

Uma das características desta estação tubo é a ausência de interferências externas como prédios ou árvores de grande porte, que poderiam vir a bloquear a incidência de raios solares, fazendo com que sua cobertura em inox e sua estrutura preta transmitam maior calor por radiação.

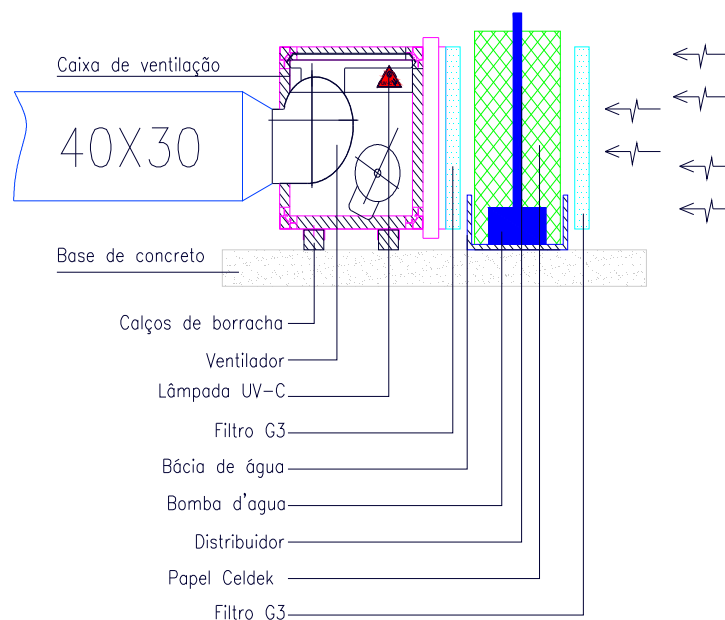
## 2.2 Descrições Gerais do Sistema de Resfriamento Evaporativo

A fim de garantir maior conforto térmico aos usuários, foi desenvolvido o sistema evaporativo de climatização na Escola Técnica Profissional Ltda. (<http://www.escolaprofissional.com.br>), que utiliza 100% do ar externo, consistindo de uma caixa com ventilador o qual aspira o ar externo, que passa por um painel evaporativo constantemente umedecido, acionado por uma bomba. O ar externo, após passar pelo painel úmido, apresenta uma considerável redução na sua temperatura, permitindo assim que o ar insuflado no interior do tubo seja constantemente renovado.

De acordo com memorial descritivo fornecido pela Escola Técnica Profissional Ltda. o sistema evaporativo instalado é composto de:

- 02 (duas) caixas de ventilação BBS 160, da marca Berliner Luft, com painel evaporativo CELdek com distribuição de água da marca Munters;
- 02 (duas) redes de dutos com grelhas VAT 1225 X 425 mm, dupla deflexão, de insuflamento marca Trox;
- 02 (duas) lâmpadas UV-C EARD/C Siprape para sistema de esterilização ultravioleta.

A Figura 02 apresenta o croqui representativo do sistema evaporativo em corte, onde se pode observar o trajeto realizado pelo ar, desde sua entrada no sistema através da passagem pelo primeiro filtro, até a sua saída através do duto de ventilação para o painel no interior da estação tubo e por fim liberado para o ambiente interno da mesma através das grelhas de ventilação.



**Figura 02** – Croqui Representativo do Sistema de Resfriamento Evaporativo (Corte)

**Fonte** - IPPUC, 2008 (Projeto de Planta, Corte e Detalhes da Estação Tubo da Linha Inter II)

Primeiramente, o ar passa pelo filtro para reter partículas provenientes do ar externo, evitando assim que as mesmas adentrem o sistema. Após atravessar o filtro, o ar passa através de um painel evaporativo úmido onde o ar é resfriado e umidificado. Um fluxo de água circula continuamente, molhando e lavando o painel e o ar que passa por ele. Trata-se de um processo natural, sem nebulização, aspersão ou arraste de partículas de água.

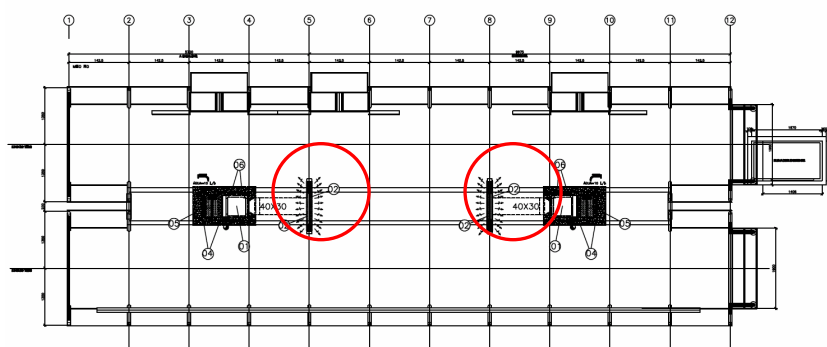
Logo após a passagem do ar pelo painel evaporativo ele passa novamente por um filtro tipo G3 para novamente filtrar o ar, agora carregado de umidade e de temperatura reduzida. Sendo esta etapa atendida, o ar entra na chamada caixa de ventilação onde se encontram o ventilador e a lâmpada UV-C.

As caixas de ventilação têm como função a captação do ar externo após sua passagem pelos filtros e pelo painel evaporativo, conduzindo o mesmo ao duto e deste a saída no interior da estação tubo na vazão necessária.

As caixas de ventilação utilizadas são do modelo BBS 160 da marca Berliner Luft com ventilador tipo Sirocco de vazão 2.000 m<sup>3</sup>/h, com 20 mmca de pressão estática disponível. As unidades de ventilação modelo BBS possuem rotores com pás múltiplas curvadas para frente, integralmente construídas em chapas de aço galvanizado, com uma vida útil média de 100.000 horas de funcionamento.

A lâmpada modelo UV-C EARD/C Sibrape, utilizada como componente do sistema evaporativo da estação tubo, localizada na parte interna da caixa de ventilação, é compacta e tem como função a esterilização imediata do ar promovendo a desinfecção do mesmo através da emissão de luz ultravioleta do tipo UV-C. Este sistema de esterilização não causa nenhum risco à saúde e age de forma rápida, segura e econômica, pois possui baixo custo de instalação e manutenção.

O ar, após passar pela caixa de ventilação, atravessa o duto de passagem até chegar ao painel sinalizado na Figura 03. Neste painel existem grelhas de ventilação de dupla deflexão que distribuem o ar pelo ambiente interno da estação tubo.



**Figura 03** – Localização dos painéis com as grelhas de ventilação

**Fonte** - IPPUC, 2008 (Projeto de Planta, Corte e Detalhes da Estação Tubo da Linha Inter II)

## 2.3 Medições de Parâmetros

Para que possam ser avaliadas a eficiência do sistema evaporativo e as condições de conforto térmico do ambiente foram realizadas medições para a obtenção das temperaturas ambientes externas e internas à estação tubo em questão, sob duas condições distintas: uma com o sistema de resfriamento evaporativo desligado (dia 31/10/2009) e outra com o sistema de resfriamento evaporativo ligado (dia 04/11/2009).

As temperaturas do ar internas e externas foram medidas simultaneamente em ambos os casos.

### 2.3.1 Aparelhos de medição utilizados

Para a medição dos parâmetros foram utilizados dois sensores HOBO Onset modelo H08-003-02, os quais são medidores, registradores e armazenadores de dados da temperatura do ar no ambiente em °C e podem ser programados para realizar medições de acordo com os períodos e intervalos desejados.

Os sensores foram programados para realizar leituras da temperatura ambiente em intervalos de 05 minutos durante todo o período de medição, que compreendeu três horas e meia, em torno do período de maior aquecimento da temperatura do ar (aproximadamente das 10:50 às 14:20).

O sensor externo foi instalado com uma blindagem HOBO Pro Solar Radiation Shield RS1, a qual fornece proteção contra a radiação solar direta graças a sua estrutura de placas múltiplas de plástico injetado.

A Figura 04 mostra o posicionamento dos sensores na medição simultânea de temperatura interna e externa. A localização do sensor interno foi escolhida o mais central possível dentro da estação tubo onde não sofresse a incidência de radiação solar direta nem fosse muito próximo da cobertura inox para não sofrer interferência direta do calor transmitido pela mesma. A localização do sensor externo foi baseada nas condições de fixação do HOBO Pro Solar Radiation Shield RS1 e da ausência de interferências que pudessem vir a influenciar nos dados de temperatura obtidos.



**Figura 04** - Localização dos sensores de temperatura do ar externo e interno na Estação Tubo Centro Cívico – Palácio Iguazu

## 2.4 Procedimentos de análise

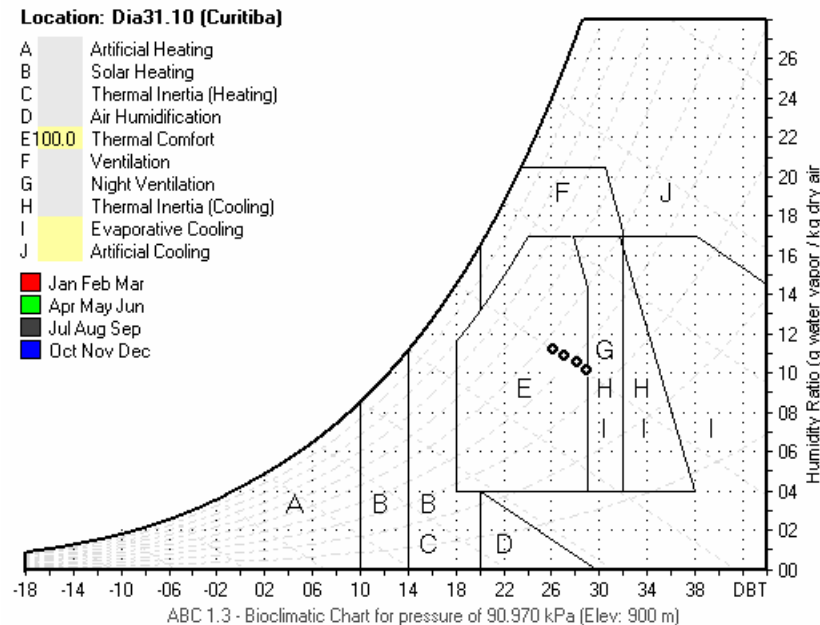
Quanto às medições realizadas em campo, foram então realizadas medições da temperatura externa e interna em duas situações: uma com o sistema de resfriamento evaporativo desligado (simulando sua ausência) e outra com o sistema ligado. Com os dados de temperatura e umidade obtidas no site do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), para os dias 31/10/2009 (sistema de resfriamento evaporativo desligado) e 04/10/2009 (sistema de resfriamento evaporativo ligado), e com a utilização do programa ABC (RORIZ, 2006), foi possível identificar na carta bioclimática as condições de conforto verificadas externamente durante o período considerado.

Como se trata de duas situações diversas em dois dias diferentes, adotou-se um procedimento de normalização dos dados. O procedimento baseou-se no seguinte: para a obtenção dos dados normalizados, multiplicou-se cada dado interno medido pela temperatura externa do mesmo dia, horário, dividindo-se o resultado pela média externa dos dois dias de medição.



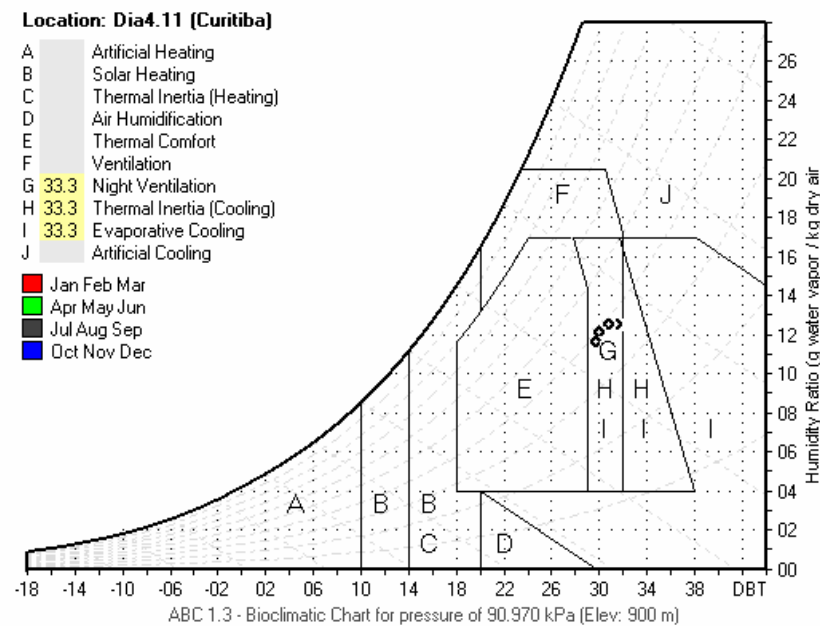
### 3 RESULTADOS

Observa-se que os dados apresentados referem-se às condições externas, uma vez que não foram tomadas medidas de umidade no ambiente interno, para compor os pares de dados necessários para entrada na carta bioclimática. Os diagramas mostram a situação climática vigente e as condições externas de conforto para ambos os dias.



**Figura 05** – Carta Bioclimática para o dia 31/10/2009 na cidade de Curitiba obtida pelo programa ABC

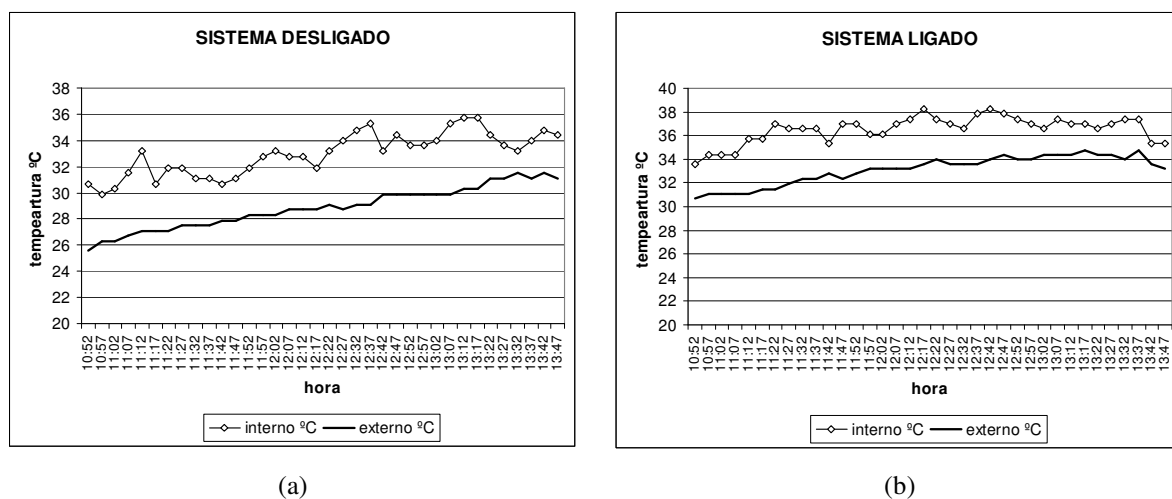
Para o dia 31/10/2009, a situação encontrada externamente se localiza dentro da zona de conforto em vermelho, ou seja, condições climáticas do dia favoráveis ao conforto térmico humano.



**Figura 06** – Carta Bioclimática para o dia 04/11/2009 na cidade de Curitiba obtida pelo programa ABC

Para o dia 04/11/2009, com o sistema desligado, a situação encontrada externamente se localiza fora da zona de conforto (estratégias G, H, I), ou seja, necessita de mecanismos auxiliares para gerar condições climáticas favoráveis ao conforto térmico humano.

A Figura 07 mostra a evolução das temperaturas internas e externas nos dois dias de medição. Nota-se alguma redução da temperatura interna com o sistema operante, porém não de forma significativa. Com o sistema desligado, a temperatura interna permaneceu em média 3.8°C acima da externa (com a diferença mínima – queda máxima da temperatura interna, de 0.9°C); com o sistema ligado, esses valores foram 3.2°C e 0.8°C, respectivamente.

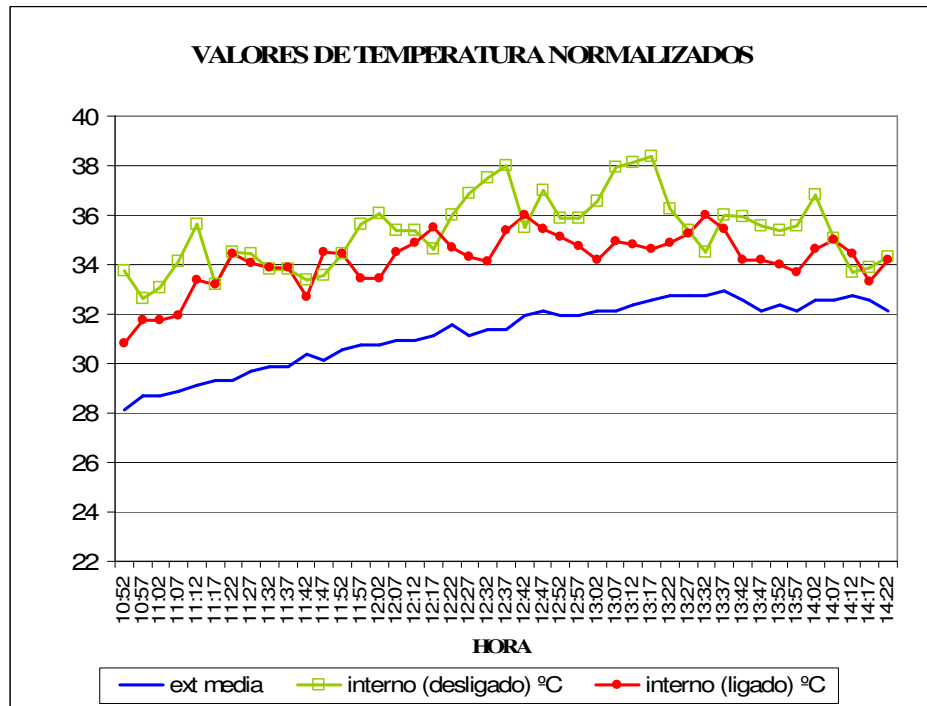


**Figura 07** – Temperatura externa versus interna com o sistema evaporativo desligado (a) e com o sistema ligado (b)

Adotou-se o procedimento de normalização dos dados, conforme descrito anteriormente, para que se pudesse realizar uma avaliação de desempenho comparativo entre as duas condições. Da mesma forma que nos gráficos individuais, na Figura 08, pode-se perceber que a temperatura no interior da estação tubo se mantém superior à temperatura interna em ambos os casos. Com relação à presença do sistema evaporativo, identifica-se que sua presença reduz minimamente a temperatura interna à estação tubo (em algumas situações a redução na temperatura do ar chega a 4°C, embora não haja constância), mas sua contribuição não é suficiente para gerar ganho significativo de conforto térmico aos usuários da mesma.

A baixa eficiência do sistema, mesma para uma diferença considerável entre TBS e TBU no período de medição (4/11/2009), com uma *wet bulb temperature depression* em torno de 10°C (TBS em torno de 30°C e TBU cerca de 20°C), pode estar relacionada aos seguintes fatores: 1) ao fato de não se tratar de um ambiente estanque –há ventilação permanente dificultando o efeito de resfriamento do ar interno; 2) o aparente subdimensionamento dos painéis evaporativos para o volume do ambiente, considerando ainda o fator anterior.





**Figura 08** – Valores normalizados de temperatura externa média, temperatura interna com o sistema evaporativo desligado e com o sistema ligado

#### 4 CONCLUSÃO

Após a análise dos dados obtidos tanto pela carta bioclimática gerada pelo programa Analysis Bio como pelas medições dos parâmetros em campo pode-se chegar à conclusão que o sistema evaporativo instalado na Estação Tubo Centro Cívico – Palácio Iguaçu contribui para uma diminuição da temperatura interna a mesma, mas não cria condição de conforto térmico aos seus usuários em um dia de calor. Sua contribuição é pequena em relação à necessidade que o ambiente interno possui de redução da temperatura do ar.

Portanto, para o caso analisado, o sistema não é eficiente da forma como está sendo utilizado e os usuários continuarão sofrendo com as altas temperaturas no interior da estação tubo e estão longe de usufruir da sensação de conforto térmico esperada.

Como sugestão para melhoria da temperatura interna à estação tubo, deveria ser feito o correto dimensionamento dos painéis evaporativos, otimizando-se as trocas de calor sensível e latente e, dessa forma, determinar o porte mais apropriado do sistema.

#### 5 REFERÊNCIAS

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. Manual de conforto térmico. 6 ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). **Dados relativos as condições climáticas:** Monitoramento da Estação Automática da cidade de Curitiba. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/sonabra/dspDadosCodigo.php?QTgwNw>>. Acesso em 31 out. 2009 e 04 nov. 2009.

Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC). **Linha Inter II – Articulado:** Projeto de Planta, Corte e Detalhes da Estação Tubo da Linha Inter II. Curitiba, 2008. 1 CD-ROM.

KRÜGER, E.L.; GONZALEZ, E.; GIVONI, B. **Effectiveness of Indirect Evaporative Cooling and Thermal Mass in a Hot Arid Climate**. Building and Environment 45 (2010): 1422–1433.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência Energética na arquitetura**. PW Editores. São Paulo, 1997.

LEAL, L. V.; FIGUEROLA, V. Memória: As Estações Tubo de Curitiba, Pioneiras no Sistema de Transporte Coletivo. **Revista Arquitetura e Aço**, Rio de Janeiro: n. 14, p. 16-17, jun. 2008

MEURS, P. **Curitiba, een ecologische metropool in Brazilië**. De Architect 1994-2, p. 51-59.

RORIZ M. **ABC (Architectural bioclimatic classification) software**. Brazil: Universidade Federal de São Carlos UFSCar, 2006.

URBANIZAÇÃO DE CURITIBA S.A. (URBS). **História do Transporte Coletivo de Curitiba**. Disponível em: <<http://www.urbs.curitiba.pr.gov.br>>. Acesso em: out. 2009.

URBANIZAÇÃO DE CURITIBA S.A. (URBS). **Rede Integrada de Transporte (RIT)**. Disponível em: <<http://www.urbs.curitiba.pr.gov.br>>. Acesso em: out. 2009.