

## **CONDENSAÇÃO DE VAPOR DE ÁGUA E DESENVOLVIMENTO DE MICRORGANISMOS EM FACHADA DE EDIFÍCIOS: ESTUDO DE CASO**

**SATO, Neide Matiko Nakata (1); UEMOTO, Kai Loh (2); SHIRAKAWA, Márcia Aiko (3), SAHADE, Renato Freua (4)**

- (1) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, e-mail: neide.sato@poli.usp.br  
(2) Escola Politécnica da USP, e-mail: kaiuemoto@poli.usp.br.  
(3) Escola Politécnica da USP, e-mail: shirakaw@usp.br  
(4) Pós-graduado pela Escola Politécnica da USP, e-mail: at.s@uol.com.br

### **RESUMO**

O crescimento de microrganismos em edifícios na cidade de São Paulo compromete prematuramente a estética das fachadas e gera a necessidade de repinturas de seus revestimentos com frequência muito acima do usual.

Neste trabalho está apresentado um estudo de caso de edifício que apresentava este tipo de patologia.

Para determinar as causas de ocorrência deste fenômeno patológico, foram efetuadas medições das temperaturas superficiais em diferentes pontos da fachada e da temperatura e umidade relativa do ar. A partir dos valores da temperatura de bulbo seco do ar e da umidade relativa foram calculadas as temperaturas de ponto de orvalho. As temperaturas superficiais externas foram comparadas com esta temperatura, verificando-se a ocorrência de condensação durante longos períodos da noite nas regiões da fachada que apresentavam presença de microrganismos.

Verificou-se que esta condensação de vapor de água na superfície externa das fachadas devida ao material empregado no substrato era uma das causas predominantes da necessidade de manutenção periódica do revestimento externo do edifício, gerando altos custos para os usuários.

### **1. INTRODUÇÃO**

As condições ambientais do local de exposição de um edifício podem promover o crescimento de uma grande variedade de microrganismos, principalmente fungos, sendo que o projeto da edificação, as características do material de construção e as condições de exposição influenciam também no seu desenvolvimento. O crescimento de microrganismos em revestimentos pode ser responsável por prejuízos que vão desde o comprometimento estético do material, até sua completa deterioração, assim como podem causar problemas à saúde dos ocupantes.

Neste trabalho está apresentado um estudo de caso onde se constatou que a presença de microrganismos estava associada à condensação de umidade intermitente em parte da fachada de um edifício.

## **2. DESENVOLVIMENTO DE MICRORGANISMOS**

Os fungos são organismos heterotróficos, ou seja, necessitam compostos orgânicos pré-elaborados como fonte de alimento. Estes compostos podem ser encontrados em diversos materiais utilizados como revestimentos. Alguns sistemas de revestimento podem servir como fonte de nutrientes para os fungos ou apenas servir como substrato permitindo seu desenvolvimento.

Para o desenvolvimento dos fungos emboloradores e de organismos fototróficos como as algas e cianobactérias nas paredes de edificações, a umidade relativa na região superficial deve estar acima de um valor crítico e a temperatura superficial também deve ser favorável ao crescimento destes microrganismos. A maioria dos microrganismos se desenvolvem em temperaturas acima de 4°C, abaixo deste valor, mesmo com umidades elevadas não há proliferação. Quanto mais longo o período em que a umidade relativa permanece acima do valor crítico, maior é taxa de proliferação e portanto é mais visível a ocorrência do problema e quanto mais elevada for a umidade relativa ou a temperatura, menor é o tempo necessário para o estabelecimento das colônias. A umidade relativa da superfície depende do teor de umidade do material, de suas propriedades e das condições de umidade e temperatura do ambiente (ASHRAE, 1997, BRE, 1972). A dependência da umidade relativa na superfície com estes diversos fatores torna bastante complexo o estabelecimento da relação entre este parâmetro com a germinação dos microrganismos. Referências indicam que umidade relativa média mensal deve permanecer abaixo de 80% (ASHRAE, 1997) ou que teores de 65 a 70% já são suficientes para a proliferação destes microrganismos (Åberg, 1989; Denham, 1987), não havendo ainda consenso a respeito do critério mais apropriado.

Além da umidade e dos nutrientes existentes no revestimento, a temperatura, o pH, e a quantidade de oxigênio, são outros fatores que interferem na ocorrência deste tipo de patologia (GILLAT, 1991).

## **3. CONDENSAÇÃO EM FACHADAS DE EDIFÍCIOS**

O ar pode conter vapor de água até uma quantidade limite que depende de sua temperatura. Quando o teor de umidade contida no ar é máximo, é dito que encontra-se saturado. Quanto mais elevada for a temperatura do ar, maior é a massa de vapor de água que este pode conter sem atingir o ponto de saturação.

Em São Paulo por exemplo, se for liberada uma massa de vapor de água adicional para o ar atmosférico inicialmente à 20°C e com 80% de umidade relativa, mantendo-se a temperatura constante, a umidade relativa irá se elevar podendo atingir a saturação (100% de umidade relativa). A partir desta situação, qualquer excesso de vapor de água não poderá ficar contido no ar e irá se condensar. Por outro lado, se a quantidade de vapor de água contida no ar for mantida constante mas a temperatura diminuir, a umidade relativa também irá aumentar e ocorrerá condensação se a temperatura for menor ou igual a 16,5°C.

Este fenômeno pode ocorrer em fachadas de edifícios pois, mesmo que o ar ambiente não esteja saturado, durante o período noturno, as superfícies externas dos edifícios tendem a ficar com temperatura mais baixa que a do ar exterior, devido à perda de energia térmica por radiação de ondas longas para a abóbada celeste. A temperatura abaixo da qual passa a ocorrer condensação é chamada de temperatura de ponto de orvalho.

Dependendo do material da fachada, o resfriamento noturno pode ser mais ou menos intenso. Fachadas com resistência térmica mais baixa e de maior capacidade térmica tendem a se resfriar menos pois o calor acumulado durante o dia nos materiais da vedação e no ambiente interno do edifício é transmitido em maior escala para o exterior, reduzindo o efeito do resfriamento externo.

#### 4. EDIFÍCIO ESTUDADO

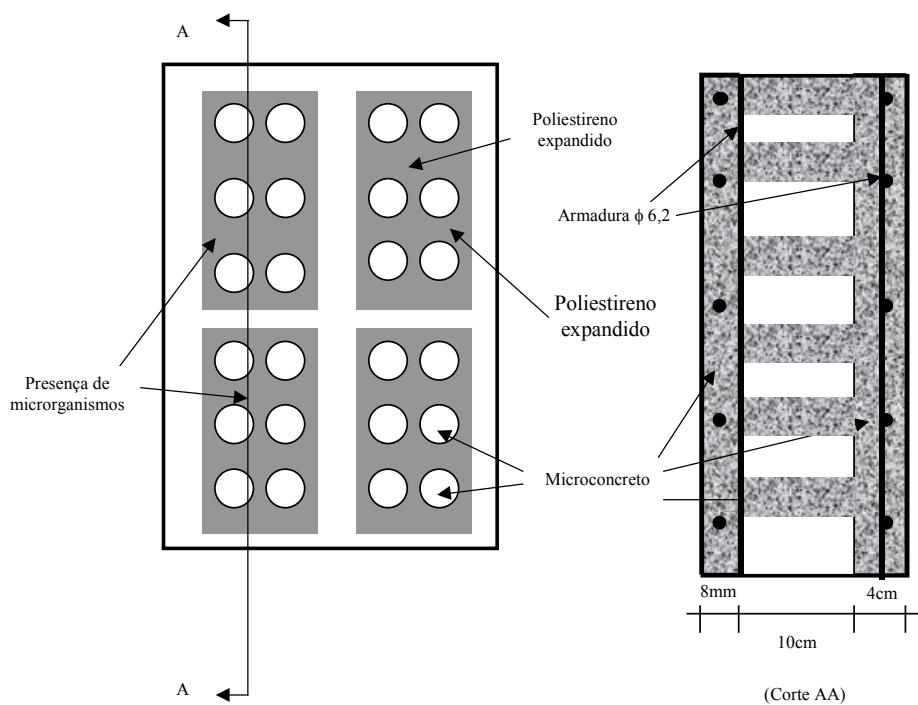
O problema da presença de microrganismos em fachada foi investigado em um edifício residencial situado na Cidade de São Paulo, cujo sistema construtivo era constituído de vigas e pilares estruturais de concreto armado tendo como elementos de vedação externa, painéis com estrutura de concreto e enchimento interno com placas de poliestireno expandido, revestidas com microconcreto.

Observou-se a presença de microrganismos predominantemente nas regiões da fachada que tinham o poliestireno expandido como substrato.

Na Figura 1 está ilustrada a fachada do edifício que apresentava a ocorrência de microrganismos e na Figura 2, são apresentados detalhes deste elemento de vedação externa.



**Figura 1 – Fachada do edifício com problemas de desenvolvimento de microrganismos**



**Figura 2 – Detalhes do elemento de vedação vertical externa e indicação das regiões com presença de microrganismos**

## **5. METODOLOGIA**

Para identificação dos gêneros de microrganismos presentes nas áreas escurecidas foram realizadas avaliações microbiológicas de material coletado da superfície externa dos revestimentos. A coleta dos microrganismos foi realizada com carpete esterilizado para investigação de fungos e com fita adesiva para análise de organismos fototróficos, como as algas e cianobactérias que se utilizam da luz como fonte de energia.

Foi identificada também a origem da umidade presente nas regiões escurecidas que propiciaram o desenvolvimento de microrganismos. Como a fachada do edifício em questão é constituída de materiais de condutividades térmicas bem diferentes, levantou-se a hipótese da ocorrência de temperaturas heterogêneas na superfície externa em função do material do substrato, seja ele isolante (poliestireno expandido) ou concreto, com ocorrência de condensação localizada em partes da fachada. Assim, foram monitoradas durante vários dias, as temperaturas em diferentes pontos da fachada e a temperatura de bulbo seco e de bulbo úmido do ar. A partir dos valores das temperaturas de bulbo seco e de bulbo úmido do ar foram calculadas as temperaturas de ponto de orvalho. As temperaturas superficiais externas foram comparadas com esta temperatura para verificar se as temperaturas superficiais variavam em função do substrato e se chegavam a atingir a temperatura de ponto de orvalho, resultando em condensação superficial.

## **6. RESULTADOS**

### **6.1 Gêneros dos microrganismos presentes nas regiões escurecidas da fachada**

As avaliações microbiológicas indicaram que nas manchas escuras do edifício estudado encontravam-se diferentes gêneros de fungos, com predominância de *Cladosporium sp*. Entre os organismos fototróficos houve predominância de *Gloecapsa*.

### **6.2 Ocorrência de condensação**

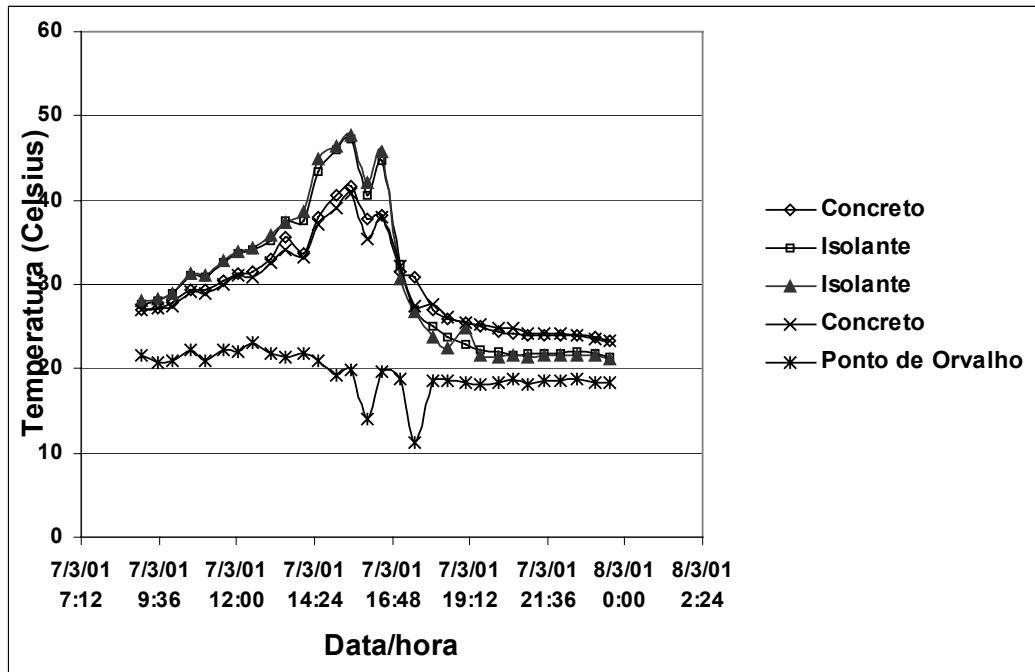
Nas figuras a seguir estão apresentados resultados das medições efetuadas. A legenda destas figuras representa:

Ar exterior: temperatura de bulbo seco do ar exterior;

Concreto: temperatura da superfície externa da fachada, na região do painel de vedação (não estrutural), cujo substrato é de concreto;

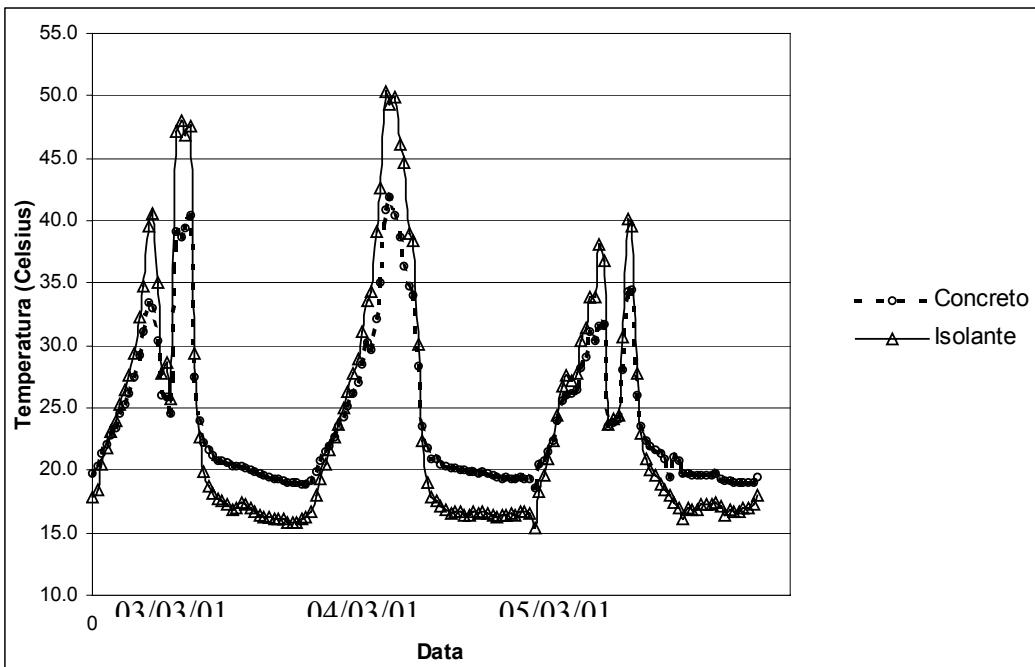
Isolante: temperatura da superfície externa da fachada, na região cujo substrato é de poliestireno expandido;

Ponto de orvalho: temperatura de ponto de orvalho.



**Figura 3 – Medições de temperatura em dia típico, em região com substrato de isolante térmico e concreto, em dois pontos da fachada para cada um dos materiais**

Da Figura 3 é possível verificar a homogeneidade de temperaturas sobre o mesmo substrato, ou seja, as temperaturas em duas posições distintas na superfície da fachada, sobre substrato de concreto, são bastante próximas o mesmo ocorrendo em relação a duas medidas sobre substrato de isolante. Assim, para facilitar a interpretação, nos gráficos a seguir estão apresentados apenas os resultados de medidas em um ponto sobre cada tipo de substrato.



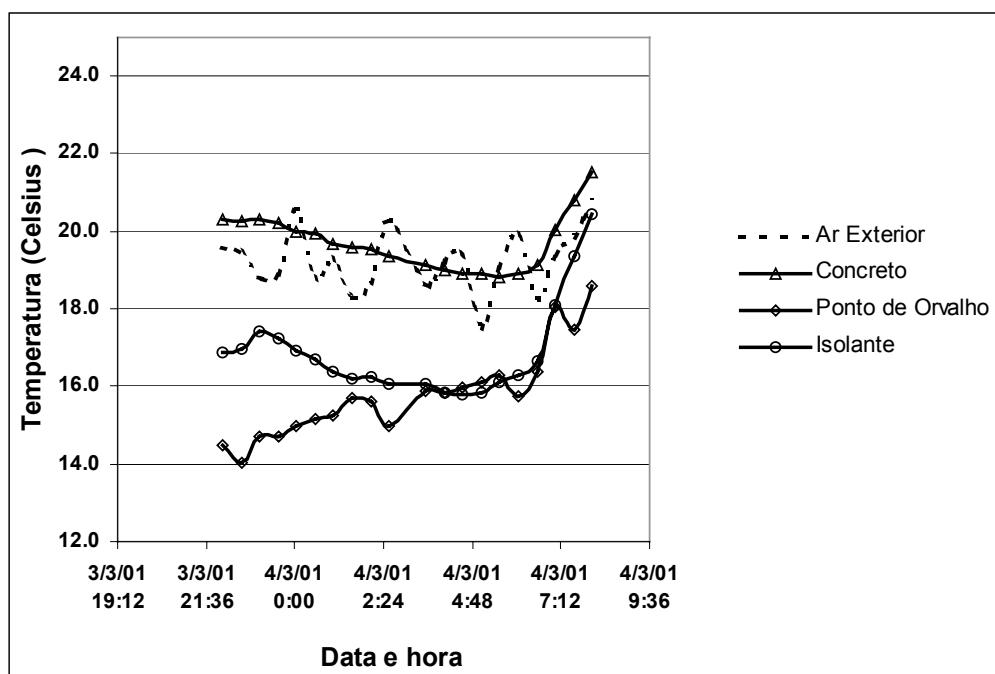
**Figura 4 – Temperaturas do ar atmosférico exterior, de ponto de orvalho e temperaturas na superfície externa da fachada com substrato de concreto e de isolante térmico, durante três dias consecutivos**

Da Figura 4, verifica-se que em todos os dias de medição, a amplitude de oscilação diária da temperatura superficial na região com isolante térmico como substrato, é maior que a da região com concreto. Assumindo-se que a transferência de calor se processa unidimensionalmente, durante o dia, a radiação solar incidente sobre a fachada é absorvida pelo revestimento externo e transferida para a superfície interna da vedação. Devido à menor condutividade térmica do isolante, a energia solar absorvida é transferida para o interior a uma taxa menor que na região com concreto, fazendo com que a temperatura sobre o isolante seja mais elevada neste período. Durante a noite, conforme apresentado anteriormente, a fachada perde energia térmica por radiação de ondas longas para a abóbada celeste e a região sobre o concreto se resfria menos, pois, o calor acumulado internamente durante o dia nesta parte da vedação e no ambiente interno é transmitido em maior escala para o exterior que na região com isolante térmico, reduzindo o efeito do resfriamento noturno.

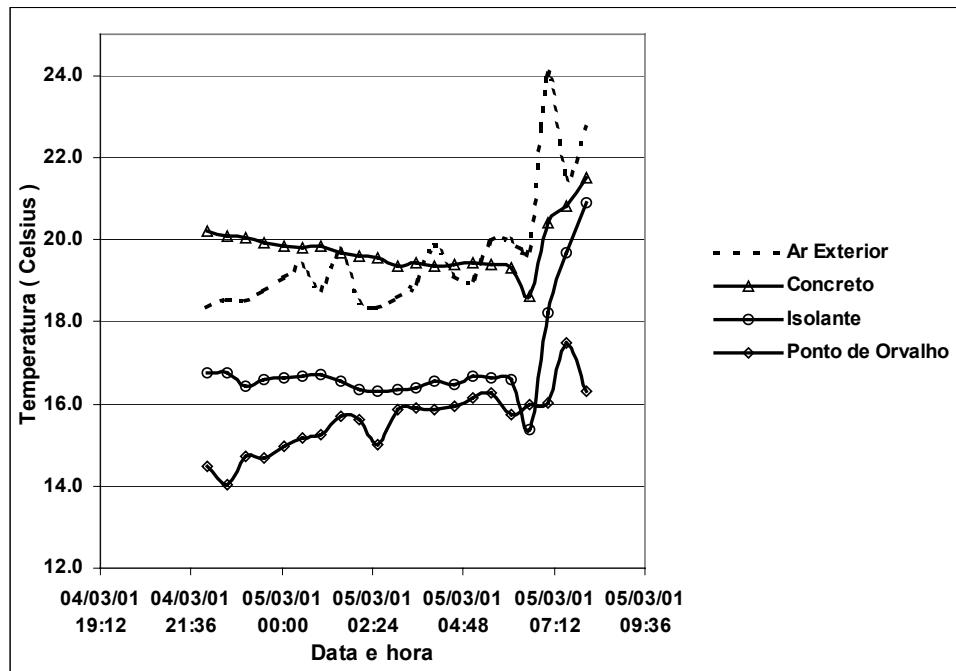
Durante a madrugada, a temperatura na região da fachada sobre o isolante chega a ficar menor que a temperatura de ponto de orvalho. Nestes períodos ocorre a condensação de umidade sobre a superfície. Em visitas ao local no início da manhã (em torno de 6:00 horas) observou-se que a quantidade de água condensada era suficiente para ser visualizada claramente na superfície da fachada.

Na região da fachada com concreto como substrato, a temperatura superficial é sempre superior à temperatura de ponto de orvalho e, portanto, nesta parte da fachada a água não se condensa.

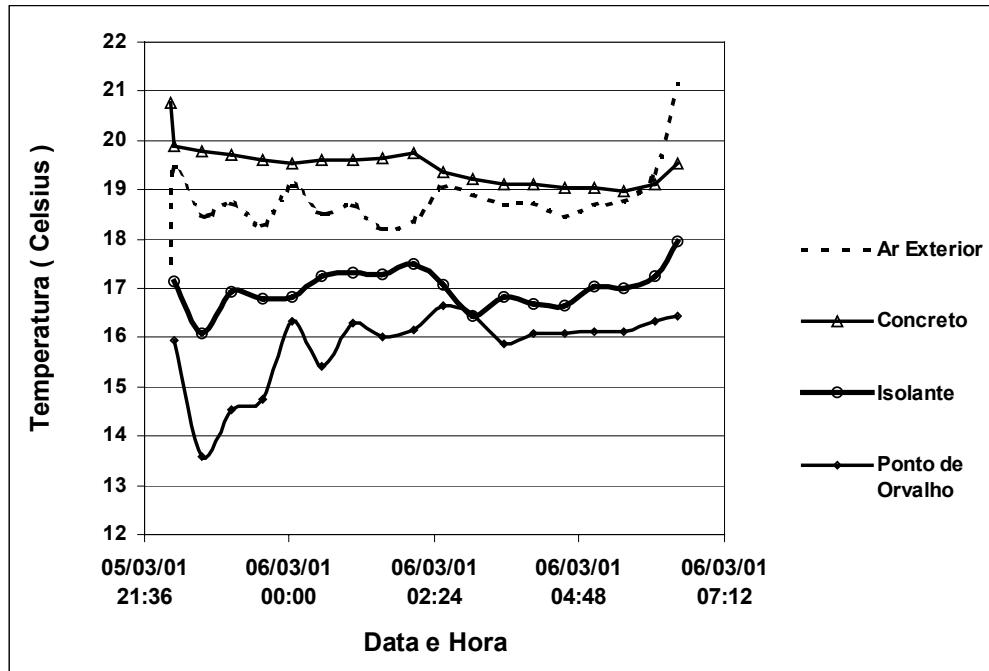
Com o intuito de ilustrar com mais detalhe os períodos de ocorrência de condensação superficial estão apresentados nas Figuras 5, 6 e 7 apenas os períodos noturnos da seqüência de medidas apresentada na Figura 4.



**Figura 5 – Indicação de ocorrência de condensação sobre região com isolante térmico como substrato, no período de aproximadamente 3:00 h às 6:00 h do dia 04/03/01.**



**Figura 6 – Indicação de ocorrência de condensação sobre região com isolante térmico como substrato, no período de aproximadamente 5:00 h às 6:00 h do dia 05/03/01.**



**Figura 7 – Indicação de ocorrência de condensação sobre região com isolante térmico como substrato apenas em alguns instantes do dia 06/03/01.**

## 7. CONCLUSÕES

Mesmo no período de verão em que as temperaturas mínimas diárias do ar exterior não são muito baixas, durante a noite pode ocorrer condensação na superfície externa da fachada nas regiões com substrato de isolante térmico. A água condensada permanece na superfície

durante um tempo maior ou menor em função da orientação solar da fachada e da velocidade e direção do vento incidente sobre este elemento de vedação. O tempo de permanência da água em fachadas com orientação sul é superior ao que ocorre na orientação norte. Pelo fato de receberem quantidade menor de radiação solar a taxa de evaporação da água condensada é menor, favorecendo o desenvolvimento de microrganismos.

Um outro fator que contribui na condensação é a condição de exposição da fachada em relação à abóbada celeste. As superfícies externas do edifício localizadas em reentrâncias do prédio ficam menos expostas e, portanto sofrem menor resfriamento, diminuindo a possibilidade de ocorrência de condensação nestas superfícies e, portanto, verificando-se uma menor ocorrência de microrganismos nestas partes do edifício.

Não foi observada diferença significativa entre os teores de umidade dos substratos de concreto ou de poliestireno expandido, indicando que o sistema de pintura não era higroscópico e apresentava baixa permeabilidade ao vapor de água.

A partir dos dados medidos foi possível concluir que a água necessária para o desenvolvimento dos microrganismos tinha origem principalmente na condensação superficial da umidade do ar, com a contribuição da chuva e do vento na ocorrência do problema.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Åberg, O. 1989. Moisture and Mould in Dwellings in a Tropical Coastal Climate. Lund, Lund University, 18p.

ASHRAE. 1997 Handbook. Fundamentals, Chapter 22, p 22.1-22.25. Atlanta, 1997. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.

Building Research Establishment. 1972. Condensation. BRE Digest 110. Watford, 1972.

Denham, K. 1987. Microbial Spoilage of Surface Coatings and its Control. Paint & Resin,, Vol. 41, p 14-17.

GILLATT, J. The need for antifungal and antialgal additives in high performance surface coatings. Surface Coatings International, june 1991.