



DESEMPENHO TÉRMICO DE 3 ESCOLAS PÚBLICAS DE SÃO CARLOS, REPRESENTANDO 3 ÉPOCAS AO LONGO DE 100 ANOS

Kellen Carrières (1); Leticia Neves (2); Rúbia Michelato (3); Maurício Roriz (4)

(1) Mestranda da UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas
e-mail: kellenmonte@duotone.com.br

(2 e 3) Mestrandas da EESC-USP – Universidade de São Paulo
e-mail: leneves@gmail.com e rubiamich@bol.com.br

(4) Docente UFSCar, Universidade Federal de São Carlos
e-mail: m.roriz@terra.com.br

RESUMO

Este artigo apresenta um estudo comparativo, em relação ao desempenho térmico dos sistemas construtivos de três escolas públicas da cidade de São Carlos-SP, em sua evolução ao longo de 100 anos, considerando três momentos: 1904, 1954 e 2001. As análises foram feitas em salas de aula com mesma orientação (Nordeste-Sudeste), onde foram realizadas medições das temperaturas e umidades relativas do ar. A comparação dos dados foi feita através de simulações no programa *Arquitrop*, com o qual também foram analisadas algumas propostas de melhoria.

ABSTRACT

The paper presents a study of the constructive system of three public schools located in São Carlos-SP, considering its thermal comfort, along three moments: 1904, 1954 and 2001. The study was realized in classrooms with the same orientation (Northeast-Southeast), where temperature and humidity data were collected. The data comparison was made by the software *Arquitrop*, which was also used in the analysis of some improvement proposals.

1. INTRODUÇÃO

Apesar da adequação do ambiente construído ao clima ser um assunto bastante recorrente, o conforto térmico e luminoso de ambientes escolares não tem sido suficientemente estudado no Brasil, segundo Labaki & Bueno Bartholomei (2001). Sendo assim, este trabalho realiza um estudo comparativo do desempenho térmico de escolas públicas na cidade de São Carlos-SP, em sua evolução ao longo de 100 anos, considerando três momentos: 1904, 1954 e 2001. A escolha baseou-se no fato destes períodos apresentarem edifícios com sistemas construtivos bastante diversos, o que pode gerar uma boa comparação e conseqüente base para discussão.

2. OBJETIVOS

Analisa-se o desempenho térmico de salas de aula de três escolas públicas da cidade de São Carlos-SP: escola Paulino Carlos (1904), Jesuíno de Arruda (1954) e Angelina Dagnone de Melo (2001), com o objetivo de identificar seus problemas e compará-las de acordo com seu sistema construtivo. As salas de aula escolhidas possuem mesma orientação, para auxiliar na comparação.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para avaliação do desempenho térmico, foram analisadas as variáveis temperatura e umidade relativa do ar, internamente às salas de aula e externamente aos edifícios. Esses valores foram medidos através do equipamento HOBO (Temp/RH), onde foram armazenados dados de temperatura e umidade em intervalos de 15 em 15 minutos, ao longo de uma semana, no período de 12 a 18 de agosto de 2004. A etapa de tratamento e análise dos dados foi feita através da elaboração de gráficos comparativos. As simulações foram realizadas no programa Arqutrop. Como as medições foram feitas no período de inverno, foram realizadas simulações para os mesmos edifícios no período do verão. Além disso, foram feitas algumas simulações complementares, modificando a orientação dos edifícios e mudando a cor da cobertura de uma das escolas, para verificar o comportamento desses prédios em situações termicamente mais favoráveis.

4. CARACTERIZAÇÃO DOS EDIFÍCIOS

Inicialmente apresenta-se uma breve descrição das escolas e suas respectivas salas de aula escolhidas para a análise. Todas as salas possuem mesma orientação solar – com paredes externas voltadas para as fachadas Nordeste e Sudeste – condição previamente estabelecida para a análise.

4.1 Escola Paulino Carlos, de 1904

Este edifício é de dois pavimentos, situado na área central da cidade, local com pouca vegetação. A vedação é em tijolo maciço, com 44cm de espessura, e para a cobertura foi utilizada telha cerâmica. A sala de aula escolhida para análise encontra-se no segundo pavimento e possui uma área de 51,84m². Suas principais características físicas são: paredes externas lisas, na cor bege; paredes internas pintadas metade em marrom claro e metade em bege; forro de madeira; esquadrias voltadas para a face Sudeste.



Figura 1: imagem externa da escola



Figura 2: sala de aula escolhida para análise

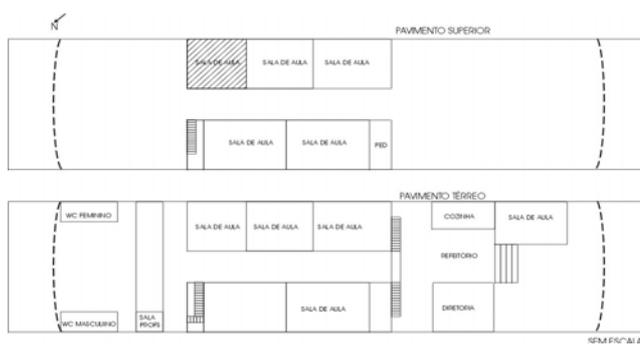


Fig. 3: planta da escola, indicando a sala escolhida

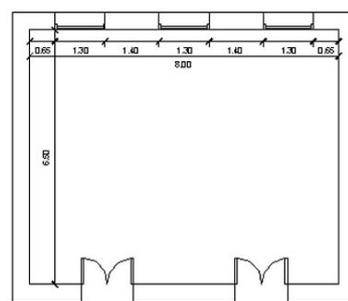


Fig. 4: planta da sala de aula

4.2 Escola Jesuíno de Arruda, de 1954

O edifício também é de dois pavimentos, localizado na área central da cidade, apresentando pouca vegetação no entorno. A vedação é em alvenaria maciça, com 28cm de espessura, e cobertura em telha cerâmica, sem pintura. A sala de aula escolhida está no segundo pavimento e possui 57,38m² de área. As paredes externas são lisas, pintadas em marrom claro, as paredes internas são metade em marrom claro e metade em gelo, suas esquadrias estão voltadas para a face Nordeste.

5. ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES

Para obtenção de uma base teórica sobre o clima de São Carlos, foi aplicado o método de Mahoney (KOENIGSBERGER, 1973), que fornece algumas diretrizes iniciais de projeto para a cidade. Pode-se, então, utilizá-lo como uma primeira ferramenta de análise. Para seu preenchimento, foram utilizados os dados obtidos no programa Arqitrop. As recomendações resultantes são:

Traçado: edifícios alongados, com fachadas maiores voltadas para Norte e Sul, para reduzir a exposição ao sol. Espaçamento: aumentar distâncias entre edificações para melhor ventilação, mas com possibilidade de controlar ventilação. Ventilação: para obter uma ventilação cruzada permanente, as habitações devem ser dispostas em filas simples ao longo do edifício. Tamanho das aberturas: 25 a 40% das fachadas Norte e Sul e/ou Leste e Oeste quando o período frio for predominante. Posição das aberturas: nas fachadas Norte e Sul, permitindo ventilação ao nível dos corpos dos ocupantes. Proteção das aberturas: evitar radiação solar direta nos interiores da edificação e proteger da chuva, permitindo ventilação. Paredes e pisos: pesadas ($U \leq 2,0 \text{ W/m}^2\text{°C}$, retard. ≥ 8 horas, fator solar $\leq 4\%$). Coberturas: leves, isolantes ($U \leq 0,850 \text{ W/m}^2\text{°C}$, retard. ≤ 3 horas, fator solar $\leq 3\%$).

5.1 Análise Crítica dos Edifícios, Baseada em uma Observação Inicial

Uma primeira análise, baseada nos resultados obtidos com a aplicação das planilhas Mahoney e na observação das edificações, permite o levantamento de algumas conclusões iniciais:

5.1.1 Orientação, Traçado e Espaçamento

As escolas Paulino e Jesuíno estão implantadas na mesma orientação, com as fachadas maiores para Noroeste-Sudeste, e a escola Angelina tem orientação Nordeste-Sudoeste. Ambas não são, segundo Mahoney, as orientações ideais, o que pode contribuir para uma maior incidência de radiação solar nas edificações como um todo durante o dia, podendo causar certo desconforto térmico durante o período de aula. Posteriormente é apresentada uma simulação das três escolas através do programa Arqitrop, colocando-as nas posições ideais de acordo com Mahoney, e assim poderá ser observada a diferença de comportamento que isso resulta. Todas as edificações possuem a vantagem de estarem em terrenos que não apresentam um grande adensamento de construções no entorno, apresentando assim uma maior exposição às correntes de ar, e a possibilidade de utilizá-las quando necessário para obtenção de conforto.

5.1.2 Ventilação

As plantas das três escolas apresentam a mesma tipologia, que consiste em duas fileiras de salas de aula com um corredor central. Este tipo de disposição dificulta a ventilação cruzada, que é recomendada para o clima de São Carlos, por auxiliar na produção de conforto nos períodos quentes, quando a temperatura interna pode vir a ser superior à externa.

5.1.3 Aberturas

As aberturas das salas de aula escolhidas para serem analisadas possuem as seguintes orientações: Sudeste na escola Paulino e Nordeste nas escolas Jesuíno e Angelina. Como a direção dos ventos dominantes do município de São Carlos é Nordeste e Sudeste, as orientações das aberturas das três salas são favoráveis à ventilação natural. A posição das janelas contribui para a ventilação, já que todas iniciam na altura dos estudantes em posição sentada, o que permite uma ventilação no nível dos corpos. O caixilho tipo basculante também auxilia, pois permite um direcionamento manual do vento, de acordo com o desejado.

A sala de aula da escola Paulino possui uma boa orientação quando se trata de proteção da radiação solar no verão, pois o sol incide em seu interior apenas no período da manhã, em pouca quantidade. Porém pode faltar um pouco de insolação no período do inverno, quando o aquecimento solar do ambiente é bem vindo. Já as outras duas salas de aula, que possuem orientação Nordeste, também receberão radiação solar em pequena quantidade no verão, além de possuírem a vantagem de receberem um pouco de insolação também durante o inverno, época em que o sol está um pouco inclinado para o Norte no eixo Leste-Oeste. No caso da escola Angelina, há ainda brises de concreto na fachada externa Nordeste, que contribuem para a proteção da radiação.

5.1.4 Vedações

As três escolas estão pintadas externamente na cor bege, que é uma cor favorável à reflexão da radiação solar, pois possui uma absorvância baixa (0,3). Uma cor ainda mais refletora seria o branco, que possui absorvância de 0,2.

Calculou-se, para as três escolas, a transmitância térmica e o fator de calor solar da vedação, de acordo com o sistema construtivo específico de cada escola, com o objetivo de se realizar uma análise crítica mais profunda. Com isso, chegou-se a conclusão que as escolas Paulino e Jesuíno, por possuírem uma vedação pesada de tijolo maciço, são adequadas ao clima da cidade, pois esse tipo de vedação permite um elevado grau de amortecimento da variação de temperatura externa, o que é indicado para um clima como o de São Carlos, onde há grandes oscilações de temperatura durante o dia, nos períodos de seca. Além disso, apresentam elevada inércia térmica, ou seja, grande resistência à transmissão de calor por condução, devido à sua capacidade de armazenar calor antes de transmiti-lo ao interior. Isto amplia o atraso térmico, e está de acordo com as recomendações de Mahoney.

Já a escola Angelina, que possui vedação de blocos de concreto, um material mais leve do que o tijolo maciço, apresenta uma menor resistência à transmissão de calor por condução. A vedação resultante não apresenta inércia térmica muito elevada, o que pode prejudicar o desempenho térmico da edificação, que estará sujeita a maiores oscilações da temperatura interna dos ambientes. Os cálculos de transmitância térmica e fator solar mostram que os valores resultantes estão fora dos limites recomendados por Mahoney, o que evidencia que tal vedação não é indicada para o clima da cidade.

5.1.5 Cobertura

Mahoney indica para o clima de São Carlos coberturas leves e isolantes, ou seja, com uma massa mínima para evitar o acúmulo de calor, já que a cobertura é a face de um edifício em que mais incide radiação solar, e de preferência com algum material isolante, que auxilie ainda mais na proteção contra a absorção e condução de calor. Para análise dos sistemas construtivos das coberturas utilizadas nas três escolas, optou-se por realizar uma média entre os valores de transmitância térmica, fator solar e atraso térmico recomendados por Mahoney e os recomendados pelo Projeto de Normalização. Os valores resultantes são: $U \leq 1,43 \text{ W/m}^2\text{°C}$; $FCS \leq 4,8\%$; $\phi \leq 3,15$ horas. Através destes valores, foi feita uma análise do sistema construtivo respectivo de cada escola de acordo com os dados fornecidos pela Tabela C.4 do Projeto de Normalização (tabela de transmitância, capacidade térmica e atraso térmico para algumas coberturas).

No caso da escola Paulino, a cobertura é de telha cerâmica com forro em madeira, que possui, segundo o Projeto de Normas, transmitância térmica de $2,00 \text{ W/m}^2\text{K}$, fator solar de 6% e atraso de 1,3 horas. Os valores de transmitância e fator solar não estão dentro dos limites aconselhados, o que mostra que a cobertura não possui um desempenho térmico satisfatório. Para aumentar o isolamento térmico da cobertura, poderia ser colocada uma lâmina de alumínio polido sobre o forro de madeira, o que reduz a transmitância para $1,11 \text{ W/m}^2\text{K}$. Outra solução para melhorar o desempenho seria pintar as telhas de uma cor mais clara. A utilização de cores claras na cobertura auxilia na redução da absorção da radiação incidente, contribuindo para o resfriamento do edifício internamente. Pintando da cor branca, por exemplo, o fator solar cai para 1,6%, o que consiste em uma redução significativa: *“Los materiales blancos pueden reflejar el 90% o más de la radiación recibida, y los negros el 15% o menos.”* (OLGYAY, 1998)

A escola Jesuíno possui cobertura de telha cerâmica com forro de laje mista, com valores para transmitância de $1,92 \text{ W/m}^2\text{K}$, fator solar de 5,7% e atraso de 3,6 horas. Ela apresenta um comportamento térmico semelhante à cobertura da escola Paulino, portanto propõe-se a adoção das mesmas propostas anteriores para melhorar o desempenho. Vale ressaltar que os valores encontrados para as duas escolas estão dentro dos limites estabelecidos pelo Projeto de Normas.

A escola Angelina tem cobertura com telha de fibrocimento e forro de PVC, o que, apesar de ser uma composição leve, é muito pouco isolante, podendo contribuir significativamente para o aquecimento do ambiente interno. Os valores encontrados para transmitância são de $2,00 \text{ W/m}^2\text{K}$, para fator solar de 6,8% e atraso de 1,3 horas. A lâmina de alumínio polido, como é um bom material isolante, também se aplica a esse caso, pois reduziria a transmitância para $1,16 \text{ W/m}^2\text{K}$. As telhas de fibrocimento ainda possuem um fator agravante que é o enegrecimento com o passar do tempo, fator que pode prejudicar ainda mais o desempenho térmico da cobertura. Por isso, a utilização de uma pintura branca poderia

contribuir muito para uma melhoria no conforto, reduzindo o fator solar para 1,6%.

Como se pode observar, a pintura da cobertura na cor branca é uma solução simples e que proporciona uma mudança significativa no desempenho térmico, sendo portanto altamente recomendada.

5.2 Análise Crítica dos Edifícios, Baseada nas Medições

Uma segunda análise, baseou-se nas temperaturas e umidades relativas do ar, obtidas através de medições realizadas externamente às edificações e internamente às três salas de aula escolhidas. A seguir, são apresentados os gráficos de temperatura e umidade do ar (interna e externamente) das três escolas, com os valores obtidos nas medições, realizadas nos dias 12 a 18 de agosto de 2004:

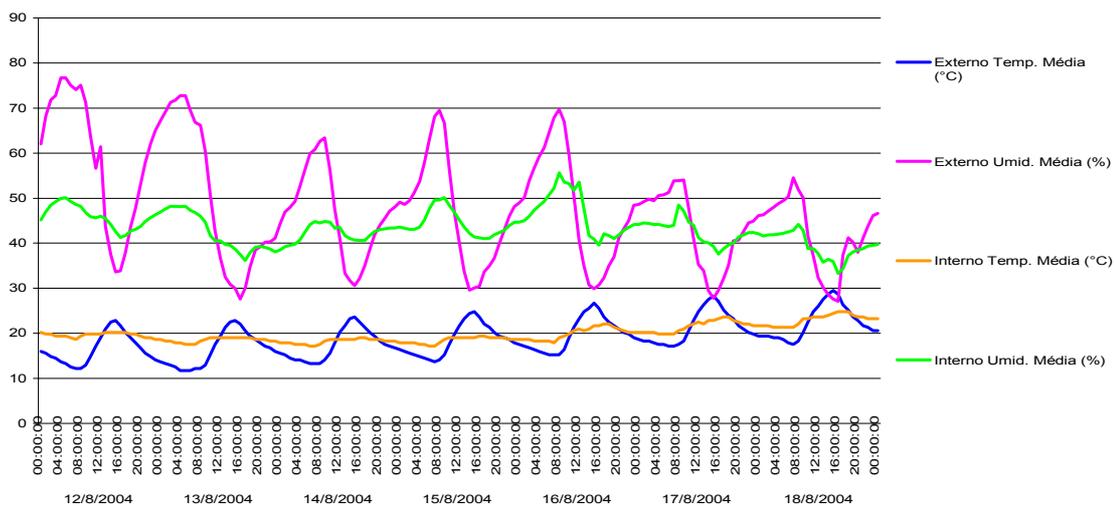


Gráfico 1: Temperatura e umidade (externa e interna) – Paulino Carlos

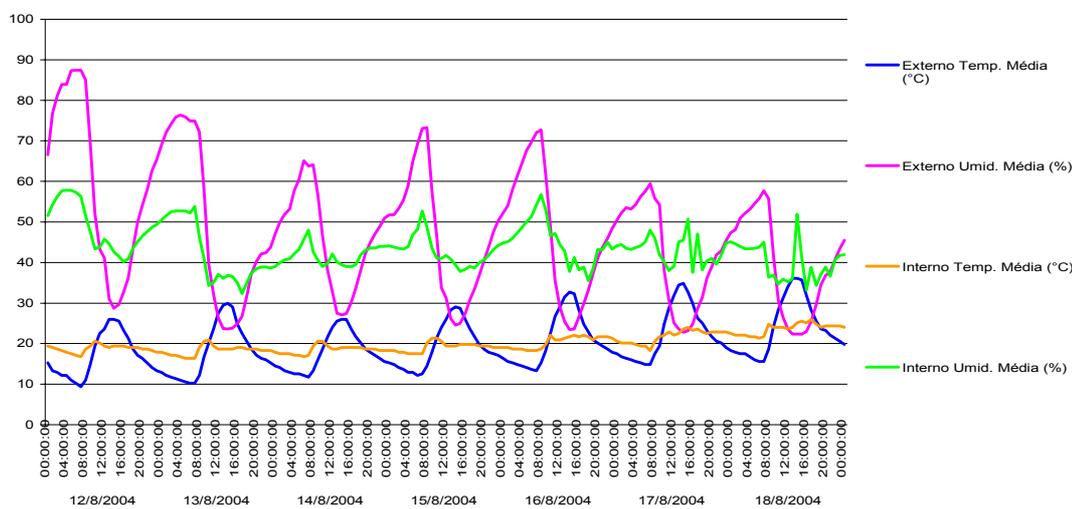


Gráfico 2: Temperatura e umidade (externa e interna) – Jesuíno de Arruda

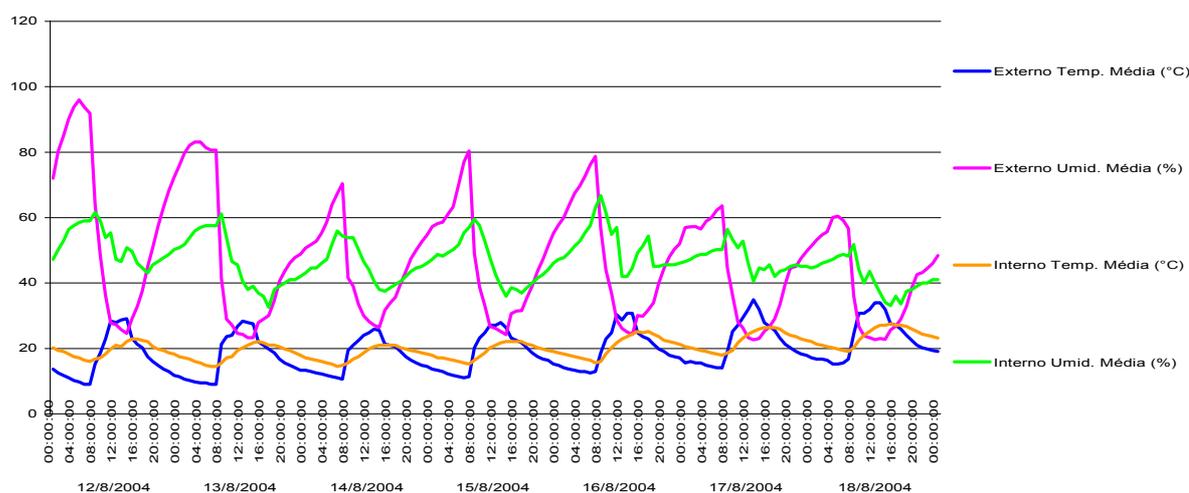


Gráfico 3: Temperatura e umidade (externa e interna) – Angelina Dagnone de Melo

Analisando os gráficos de umidade e de temperatura das três escolas, pode-se concluir:

As medições de umidade relativa do ar externamente às três escolas mostram que há uma grande oscilação, chegando a picos de 80% durante a madrugada e caindo até 30% durante a tarde. Isto se deve ao período de seca em que foram realizadas as medições, característica do inverno de São Carlos, época em que é comum haver temperaturas elevadas durante o dia, quando a umidade relativa cai bastante, e temperaturas baixas durante a noite, com umidade relativa mais elevada. As oscilações na temperatura também são grandes, chegando a mais de 30°C durante o dia e caindo próximo a 10°C de madrugada.

Na escola Paulino, a umidade interna apresenta variações médias de 10% ao longo do dia, sendo que os picos ocorrem no início da manhã, quando a temperatura do ar está mais baixa. A temperatura interna não apresenta grandes alterações, apenas uma variação média de 3°C, enquanto a temperatura externa chega a ter oscilações de 10°C. Pode-se observar que as oscilações tanto de temperatura quanto de umidade são pequenas na escola, o que comprova que a vedação pesada (tijolos maciços, com 44cm de espessura) proporciona um bom amortecimento interno, e reduz significativamente as oscilações de temperatura. Mesmo em um dia em que a temperatura externa chega a 30°C, internamente ela chega apenas a 25°C, o que é uma redução significativa. Esta redução poderia ser ainda maior se a cobertura apresentasse um melhor desempenho térmico. O atraso térmico da sala de aula analisada é de aproximadamente uma hora em relação à temperatura externa.

Na escola Jesuíno, a umidade interna apresenta seus picos no início da manhã e seus pontos mais baixos no final da tarde. A temperatura interna não sofreu grandes alterações durante o dia, apenas uma variação de 4°C, permanecendo uma média interna entre 20° e 25°C. A redução da temperatura interna nesta escola é significativa, podendo chegar a 10°C: quando a temperatura externa está acima de 35°C, a interna está cerca de 25°C (dia 18/08). A vedação de tijolos maciços apresenta, portanto, um bom desempenho térmico, garantindo uma boa redução na temperatura interna. A cobertura, apesar de não possuir um desempenho ideal, é mais adequada do que a da escola Paulino, por apresentar uma laje, que contribui mais no isolamento térmico do que um simples forro de madeira (que é o caso da Paulino).

Ao analisar o amortecimento da temperatura, pode-se observar que os picos internos ocorrem antes dos externos, não apresentando, portanto, atraso térmico. Isto pode ocorrer por dois motivos: ou o pico de temperatura interna ocorre quase um dia após o pico externo (hipótese pouco provável) ou alguns fatores específicos do ambiente contribuem para que o pico interno ocorra antes, como a presença de alunos na sala de aula e a incidência solar sobre os vidros das janelas no período da manhã (que são orientação Sudeste).

A escola Angelina foi a que apresentou o pior desempenho, o que se deve ao fato das vedações serem mais leves e da cobertura ser inapropriada ao clima da cidade. Ela apresenta uma maior variação da temperatura interna, chegando a ter oscilações de 8°C durante o dia. O sistema construtivo não

contribui, portanto, para manter uma maior estabilidade da temperatura e umidade interna, e as grandes oscilações podem ser um incômodo para os usuários. Grande contribuição para isto, além da vedação leve, é a cobertura de telha de fibrocimento, que além de ser pouco isolante fica enegrecida com o tempo, absorvendo uma grande quantidade de radiação solar e contribuindo ainda mais para o aquecimento interno. Os brises presentes nas janelas amenizam um pouco o problema. O atraso térmico é de cerca de uma hora.

6. SIMULAÇÕES COM O PROGRAMA ARQUITROP

Foram realizadas algumas simulações com o programa Arqutrop, para verificação e comparação dos resultados medidos *in loco* com algumas outras situações: desempenho térmico das salas de aula das escolas no período do verão (simulações para o dia 15/02), desempenho das salas na orientação Norte-Sul (orientação considerada ideal por Mahoney) e desempenho da escola Angelina com a cobertura pintada na cor branca, já que esta escola foi a que apresentou o pior resultado. Foram feitas também simulações para o dia 15/08 (mesmo período em que foi feita a pesquisa de campo), para servirem como parâmetro de comparação.

6.1 Simulação da sala de aula da escola Paulino Carlos

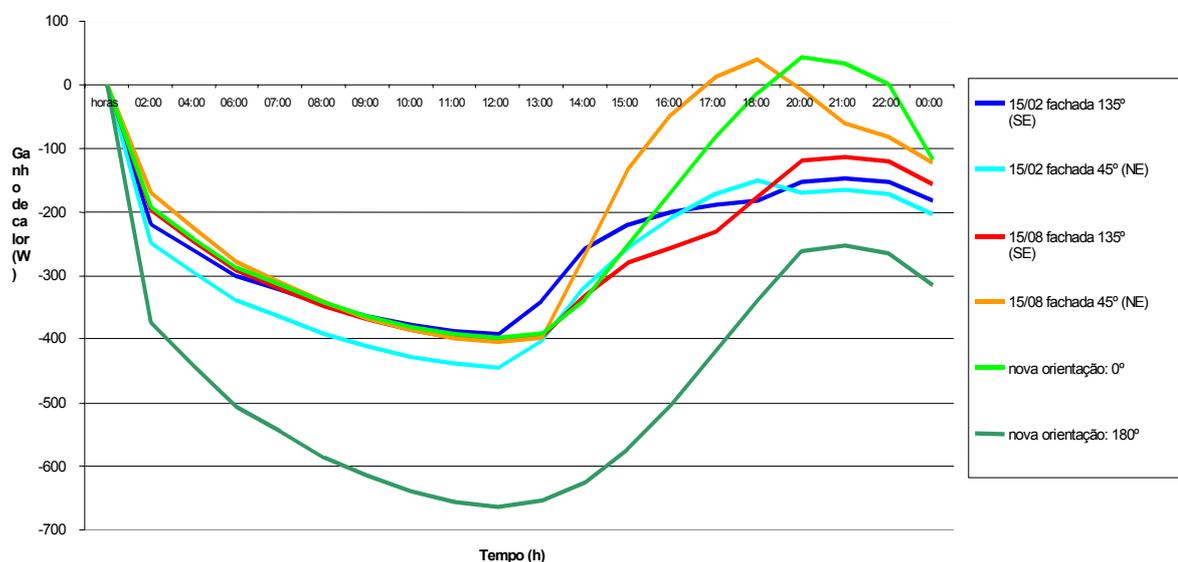


Gráfico 4: Simulações para a escola Paulino Carlos

Comparando as simulações para os períodos de verão e de inverno, pode-se perceber que na maior parte do tempo há perdas de calor, o que possivelmente se deve ao fato de haver muitas fontes de calor interno, como por exemplo o número de alunos (foram cadastrados 35 alunos), o período de ocupação (11 horas) e os equipamentos (ventilador e iluminação artificial). Pelo fato do percurso solar no período de inverno estar inclinado em relação ao eixo Norte-Sul, a fachada Nordeste recebe maior insolação neste período, o que resulta em maior ganho de calor no fim da tarde, como se pode observar no gráfico. Já no período do verão esta fachada recebe menos radiação solar direta, resultando em uma menor perda de calor. A orientação considerada ideal por Mahoney seria Norte-Sul, porém observando os gráficos não se verifica uma grande diferença de comportamento.

6.2 Simulação da sala de aula da escola Jesuíno de Arruda

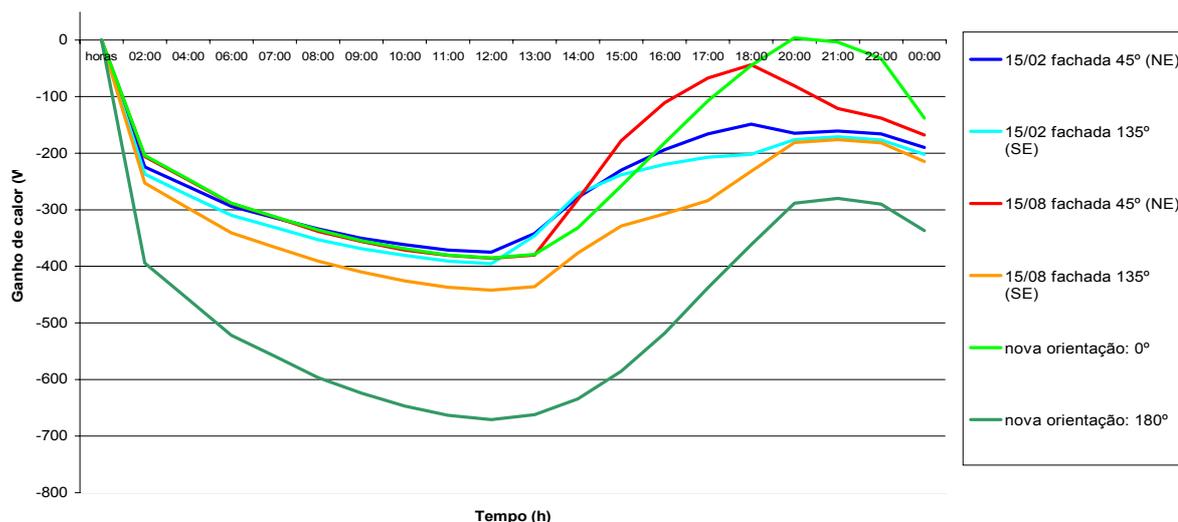


Gráfico 5: Simulações para a escola Jesuíno de Arruda

Foram feitas simulações para verão e inverno para que se pudesse observar o comportamento das salas de aula em dois períodos distintos do ano, porém a justificativa apresentada anteriormente (para a escola Paulino) vale para todos os casos. Já no caso da simulação para a nova orientação, percebe-se que a maior vantagem da orientação Norte-Sul está no fato de que a fachada Sul não recebe radiação solar direta e, conseqüentemente, tem maiores perdas de calor em relação a todas as outras orientações.

6.3 Simulação da sala de aula da escola Angelina Dagnone de Melo

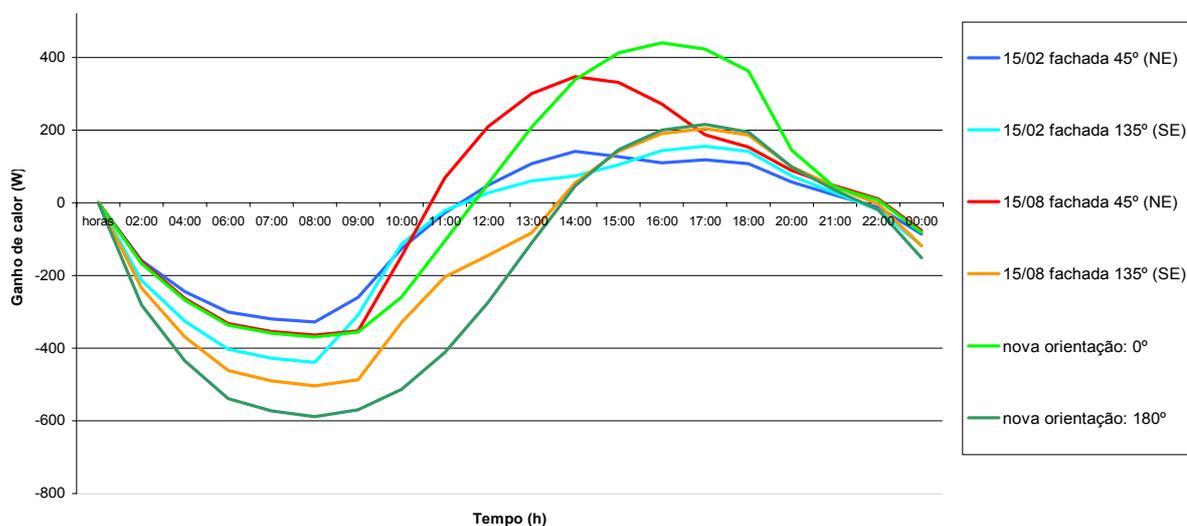
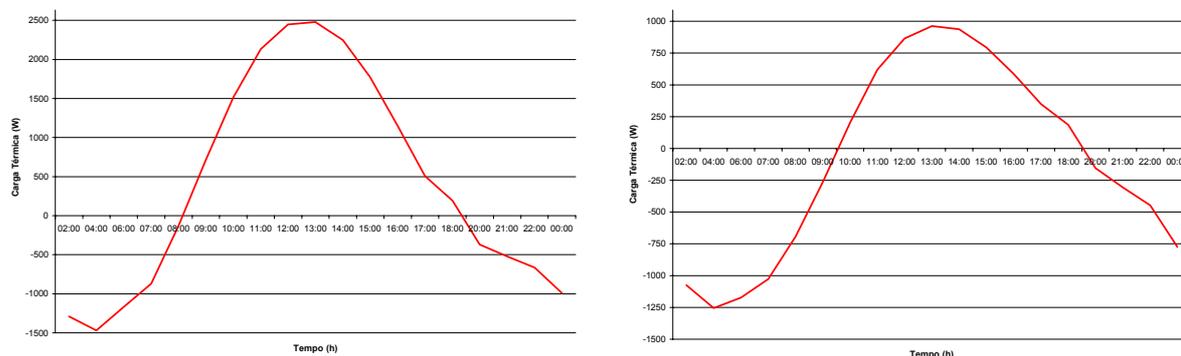


Gráfico 6: Simulações para a escola Angelina Dagnone de Melo

Ao analisar os gráficos para a sala de aula da escola Angelina, percebe-se que, em relação às escolas Paulino e Jesuíno, os ganhos de calor são bem maiores, o que comprova as discussões feitas anteriormente, que mostraram que esta escola possui sistema construtivo, tanto de vedação como de cobertura, inadequado para o clima da cidade. O período de ocupação nesta escola também é maior, pois há aulas no período noturno, o que auxilia na geração de calor. Todos estes fatores resultam em elevados ganhos de calor no período da tarde. A orientação Norte-Sul proposta auxilia na redução dos ganhos de calor para a fachada Sul.

A seguir, apresenta-se uma simulação para a cobertura da escola, onde propõe-se a pintura na cor

branca. Como o sistema construtivo é inadequado para o clima – telha de fibrocimento com forro de PVC – percebe-se que esta proposta simples de pintura já melhora significativamente seu desempenho térmico, reduzindo mais de 50% os ganhos de calor (de 2500W para 1000W).



Gráficos 7 e 8: Cobertura da escola Angelina – situação atual e telha pintada na cor branca

7. CONCLUSÕES FINAIS

Analisando os resultados das medições *in loco*, pode-se concluir que as escolas Paulino e Jesuíno, que são construções mais antigas, apresentam bom desempenho térmico, por usarem materiais pesados, de maior inércia, que são mais adequados ao clima local. Já a escola Angelina, construída mais recentemente, apresenta, em relação às outras escolas, as piores condições de conforto térmico. Isto provavelmente é causado pelo fato de hoje em dia o governo oferecer recursos limitados para construções de obras públicas, que sempre devem ser feitas com materiais de menor custo (os orçamentos são comparativos e o mais barato é o aprovado), mas que nem sempre são os mais adequados para o clima local.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- KOENIGSBERGER, O. H. et al (1973) “Manual of Tropical Housing and Building: Part 1 Climatic Design”. Ed. Longman. Londres.
- LABAKI, L.C.; BUENO BARTHOLOMEI, C.L. (2001) Avaliação do conforto térmico e luminoso de prédios escolares da rede pública, Campinas-SP. In: VI ENCONTRO NACIONAL E III ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, São Pedro. Anais.ANTAC.
- OLGYAY, V. (1998) “Arquitectura y Clima – Manual de Diseño Bioclimático para Arquitectos y Urbanistas”. Ed. Gustavo Gili. Barcelona.
- PROJETO DE NORMALIZAÇÃO EM CONFORTO AMBIENTAL. UFSC-FINEP. (1998) Projeto 02:135.07-002. Florianópolis-SC.
- RORIZ, M. (2001) “Higiene do Trabalho: Temperatura”. Apostila do Departamento de Engenharia de Produção, UFSCar. São Carlos-SP.