

ESTUDO DO DESEMPENHO TÉRMICO EM SALAS DE AULA: DESIGNBUILDER

Eduardo Vedovetto Santos (1); Paula Silva Sardeiro Vanderlei (2)

(1) Graduando, engenharia civil, vedovettu@gmail.com

(2) Doutora, arquiteta, pssvanderlei@uem.br

Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Civil, Av. Colombo, 5790 – Bloco C67, CEP 87020-900 – Maringá – PR – Fone: (44) 3011-4322

RESUMO

O desempenho térmico em edificações escolares está relacionado às variáveis formuladoras do projeto de arquitetura, mais especificamente aquelas determinantes da envolvente construída (forma; orientação das aberturas; proteções solares; materiais construtivos e de acabamento). Estas variáveis são qualificadas como otimizadoras em relação ao desempenho, sendo que a adequada definição destas variáveis durante o projeto das salas de aula possibilita melhor qualidade. Assim, o presente trabalho visa comparar a pesquisa de campo com a simulação computacional do comportamento térmico de edificações com salas de aula. As simulações são definidas a partir de um modelo baseado na pesquisa de campo, estudando-se comparativamente os dados das temperaturas do ar internas simuladas através de um aplicativo computacional de simulação térmica, o *DesignBuilder*, e os dados registrados *in loco* através do aparelho TESTO 177- h1, das salas de aulas da Universidade Estadual de Maringá, Campus de Maringá – PR nas estações de verão e inverno. Além das variáveis climáticas, realizou-se uma coleta de informações para a estimativa de variáveis pessoais, aplicando-se questionários que obtivessem informações pessoais como idade, sexo, e vestimenta utilizada pelo indivíduo. Foram também levantadas questões referentes ao tempo de utilização das salas de aula, localização na sala e sensações térmicas. Considera-se que os resultados finais proporcionaram uma boa proximidade entre os simulados e registrados, com erro médio de 1,4°C entre eles, na situação e objeto de estudo propostos. Dessa forma, permite-se constatar que o aplicativo *DesignBuilder* 1.2 é uma boa ferramenta de simulação. Contudo é possível verificar a importância de determinar com cuidado os parâmetros dos modelos de simulação de desempenho térmico para que as respostas obtidas pelo programa tenham uma maior confiabilidade.

Palavras-chave: simulação computacional, salas de aula, desempenho térmico.

ABSTRACT

The thermal performance in school buildings is related to variables formulators of architectural design, specifically those determinants of the built environment (shape, orientation of openings, solar protections, construction and finishing materials). These variables are described as optimizers regarding the performance, and the proper definition of these variables during the design of the classrooms enables better quality. Thus, this study aims to compare the field research with the computer simulation of the thermal behavior of buildings with classrooms. Simulations are defined from a model based on field research, by studying the comparative data of the internal air temperatures simulated by a computer application of thermal simulation, *DesignBuilder*, and the data recorded on the spot by TESTO 177 device - h1, of classrooms at the State University of Maringa, Campus de Maringa - PR in the summer and winter seasons. In addition to climatic variables, there was a collection of information for estimating personal variables, applying questionnaires to obtain personal information such as age, gender, and clothing used by the individual. Questions were also raised regarding the time of use of the classrooms, located in room and thermal sensations. It is considered that final results provide a good proximity between the simulated and recorded, with an average error of 1.4 ° C between them, and in the situation proposed study object. Thus, it is allowed to see that the *DesignBuilder* 1.2 application is a good simulation tool. However you can check the importance of carefully determine the parameters of thermal performance simulation models so that the responses obtained by the program have a higher reliability.

Keywords: computer simulation, classrooms, thermal performance.

1. INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica pós-Revolução Industrial modificou o panorama da concepção arquitetônica. O engenheiro foi direcionado a buscar soluções distantes das que levavam em consideração os elementos naturais. Embora fossem encontrados nesse período exemplos arquitetônicos notáveis nos quais se identificam a manutenção de princípios bioclimáticos, os desenvolvimentos na área de sistemas estruturais, na produção do vidro e, posteriormente, no advento da luz elétrica contribuíram para retirar a função de fontes de luz primárias (JANNUZZI, DANELLA e SILVA, 2004).

Com a intenção de promover qualidade nas edificações, projetistas podem recorrer à simulação computacional para auxiliar a tomada de decisões em projeto. De acordo com Mourshed *et al.* (2003) os programas de simulação capazes de avaliar o desempenho termo-energético são muito pouco usados pelos projetistas por acreditarem não ser possível integrá-los no processo de projeto. Ainda segundo os autores, esses programas têm avançado muito em relação à precisão, mas não o suficiente no que tange à utilidade. Para Ghisi e Pereira (2009), as principais causas disto são a complexidade dos programas e a consequente dificuldade e demora no aprendizado pelos projetistas.

Segundo Marsh (1997), o termo ferramenta de projeto é geralmente aplicado a uma grande quantidade de técnicas, variando de dados tabulados em planilhas e métodos manuais de cálculo a programas sofisticados de análise computacional. Entretanto, pode-se observar que embora sejam classificados por pesquisadores como ferramentas de projeto, a maioria focaliza mais a análise do projeto consolidado do que a tomada de decisão durante o projeto.

Para Larsen *et al.* (2008), os programas da simulação têm as ferramentas importantes, utilizadas para melhorar projetos de edifícios e consumo de energia, podendo calcular o comportamento térmico dos edifícios e mudar variáveis diferentes, como as condições climáticas, geometria, materiais, dentre outros, para avaliar sua resposta térmica. Assim, um “padrão” é realizado até que um projeto final adequado esteja elaborado. Hoje em dia, uma grande variedade de programas de simulação está disponível, dos níveis diferentes da complexidade que vão da situação de estado estacionário até a sofisticada simulação do CFD. Pode-se citar o TRNSYS, ESP-r, DOE-2, BLAST, ENERGY PLUS, TAS, DEROB-LTH FLUENT, o DESIGNBUILDER, dentre outros.

As metodologias para a validação de programas de simulação da energia do edifício têm sido desenvolvidas. Segundo Oliveira (2006), a maioria das ferramentas de simulação é similar na abordagem e geralmente simulam um modelo detalhado pelo usuário da ferramenta. Ainda segundo Oliveira (2006), na avaliação do desempenho térmico e energético de habitações, a diversidade de parâmetros que influenciam o comportamento térmico dos ambientes – e que devem ser considerados na modelagem da edificação – pode ser agrupada em três categorias:

1. *Variáveis climáticas*: relacionado aos aspectos climáticos locais (temperatura do ar externa, velocidade dos ventos, radiação solar, entre outros);
2. *Variáveis de projeto*: relacionado ao projeto arquitetônico e construção da edificação (geometria, layout da planta, propriedades termo-físicas dos componentes dos sistemas construtivos, entre outros);
3. *Variáveis de uso e ocupação*: relacionado ao comportamento dos usuários e operação da edificação (rotinas, cargas térmicas internas, operação de janelas, uso de equipamentos elétricos, entre outros);

Esses fatores devidamente analisados podem colaborar para um entrosamento da complexidade dos parâmetros coligados ao projeto de habitação que devem ser ponderados no desenvolvimento de metodologias para avaliação de desempenho térmico e energético das mesmas, de sugestões de projeto e das relações com a decisão projetual. Outro aspecto é a identificação das limitações e imprecisões associadas a cada grupo.

Na simulação de desempenho térmico de edificações naturalmente ventiladas, os dados relativos à ventilação e sua modelagem em simulações sugerem um destaque, em virtude do aperfeiçoamento das técnicas nos últimos anos e das grandes imprecisões e limitações que permanecem quando consideradas a velocidade, a direção e a pressão dos ventos no entorno e no interior do espaço simulado.

2. OBJETIVO

Comparar a pesquisa de campo com a simulação computacional do comportamento térmico de edificações com salas de aula.

3. MÉTODO

3.1. Estudo de caso: salas de aula

Maringá, cidade localizada no norte do estado do Paraná, tem um clima subtropical, com umidade relativa em torno de 70% e temperaturas anuais médias superiores a 20°C. A latitude de Maringá é aproximadamente 23° 25' S, onde passa o trópico de Capricórnio.

Nessa cidade fica situado o campus sede da UEM – Universidade Estadual de Maringá – que serviu como objeto de análise do conforto luminoso em algumas salas de aula. A UEM tem suas novas construções dispostas em três fachadas distintas (em forma de flor), sendo que uma tem suas fachadas voltadas para noroeste e sudeste, a outra para leste e oeste e por fim a última se volta para nordeste e sudoeste (Figura 1).



Figura 1: Foto de satélite da UEM e detalhe dos blocos C67 e D67.
Fonte: Google Maps.

Haja vista que não foi possível a escolha de um bloco de cada disposição para análise, pelo motivo de que os que ficam com as fachadas voltadas para o leste e oeste não possuem mesmas características que os demais, foram escolhidos dois blocos com características similares o C67 (fachadas nordeste e sudoeste) e o D67 (fachadas noroeste e sudeste). Em cada bloco foram escolhidas duas salas, uma em cada fachada.

3.1.1. Bloco C67

Composto por térreo mais dois pavimentos, onde as salas de aula se concentram no primeiro piso. Feito de alvenaria cerâmica com revestimento em reboco e esquadrias do tipo basculante. Possui pintura em sua maior parte na cor branca, com piso feito de granilite, sendo totalmente contornado por brises soleil no primeiro e segundo piso.

O entorno do bloco varia de fachada para fachada, ao nordeste existem apenas algumas palmeiras e árvores de menor porte próximo às janelas (Figura 2), enquanto que ao sudoeste há várias árvores de grande porte (Figura 3), porém há uma distância considerável entre elas e as janelas das salas de aula



Figura 2: Fachada Nordeste do bloco C67.



Figura 3: Fachada Sudoeste do bloco C67.

As salas escolhidas para a análise nesse bloco foram: sala 103 na fachada nordeste e 104 na fachada sudoeste. Ambas com características semelhantes quanto ao tamanho e aos materiais dispostos em seus interiores.

3.1.2. Bloco D67

Também composto por térreo e dois pavimentos, mas diferente do C67, esse bloco é destinado somente a salas de aula, estando dispostas nos três pavimentos.

Construído com alvenaria cerâmica, com blocos a vista até a altura do peitoril e acima revestimento feito em reboco pintado de cor branca. Possui piso cerâmico e janelas do tipo basculante cobrindo quase toda extensão da parede.

O entorno da fachada sudoeste é composto por várias árvores de médio e grande porte, porém se

situam a uma distância considerável da janela, porque existe uma calçada para circulação de pessoas entre as árvores e o bloco. Na fachada noroeste não há árvores de tal porte que possa provocar alguma sombra que fosse considerável nos dados finais das medidas.

As salas escolhidas neste bloco foram: 109 na fachada Sudeste (Figura 4) e 110 na fachada Noroeste (Figura 5). Ambas com características semelhantes tanto no aspecto do tamanho quanto a dos materiais nos seus interiores, assim como no C67.



Figura 4: Fachada Sudeste do bloco D67.



Figura 5: Fachada Noroeste do bloco D67.

3.2. Considerações

Na primeira etapa, foi feita a escolha do objeto de estudo, bem como dos recursos disponíveis. Além disso, nessa etapa pesquisou-se sobre as características climáticas da região. Logo após, realizou-se as medições *in loco* nas salas escolhidas, sendo as mesmas posteriormente simuladas computacionalmente.

3.3. O *DesignBuilder* como ferramenta de simulação

Como já mencionado, foi escolhido para o presente trabalho uma ferramenta de simulação computacional do desempenho térmico de fácil manuseio, o *DesignBuilder*, sendo uma interface gráfica para o programa de simulação térmica *EnergyPlus*.

O aplicativo combina as funcionalidades de modelação de edifícios e de uso do mesmo, com simulação energética dinâmica de ponta, oferecendo uma plataforma de modelação de habitação em 3D de rápida manipulação. Estão disponíveis elementos realísticos que fornecem de forma visual e imediata detalhes como espessuras de paredes, janelas, lajes, dentre outros.

Ao criar um modelo, o *DesignBuilder* permite que sejam definidos automaticamente os dados do mesmo mediante as plantas baixas definidas. Também é possível controlar o nível de detalhe de cada modelo, o que faz do referido aplicativo uma ferramenta útil em qualquer etapa do processo de projeto.

O processo de projeto pode ser auxiliado pelo uso de programas computacionais de simulação, para os quais é necessária a escolha adequada dos parâmetros utilizados como dados de entrada e o entendimento dos resultados de saída obtidos pela simulação, além da compreensão geral do modelo de simulação utilizado. Entre os dados de entrada utilizados no programa estão os aspectos climáticos locais, como: temperatura do ar externa, velocidade dos ventos, radiação solar, entre outros, bem como modelagem do projeto arquitetônico e construção da edificação, como: geometria, layout da planta, propriedades termo-físicas dos componentes dos sistemas construtivos, entre outros.

O aplicativo *DesignBuilder* fornece dados de saída como: consumo de energia, conforto interno e sistemas de ar condicionado de vários tamanhos e potências.

3.4. Método de coleta dos dados

Os dias determinados para a realização da coleta de dados de verão foram os dias 9, 10, 16 e 17 de março e 29 e 30 de junho e 1 e 3 de julho para os dados de inverno.

Para as medições, os equipamentos foram colocados sobre uma carteira na posição central da sala de modo a representar uma determinada condição térmica média.

As medições no aparelho TESTO 177- h1 (Figura 6) se deram das 7 às 12 horas e 30 minutos e depois das 12 horas e 45 minutos às 18 horas.

Para a medição da velocidade do ar utilizou-se o aparelho TESTO 405-v (Figura 7) de modo que se obtivessem os valores de velocidade do ar em diferentes orientações, sendo medidas as direções Norte, Nordeste, Leste, Sudeste, Sul, Sudoeste, Oeste e Noroeste a cada 10 minutos das 7 às 18 horas. As medições foram realizadas com as salas sem ocupação. As janelas estiveram abertas para a realização das medições.



Figura 6: Aparelho TESTO 177-h1



Figura 7: Aparelho TESTO 405-v e suporte

3.5. Obtenção das variáveis pessoais

Para a coleta de informações visando estimar variáveis pessoais, foram aplicados questionários, que obtivessem informações como idade, sexo, e vestimenta utilizada pelo indivíduo. Foram também levantadas questões referentes a tempo de utilização das salas de aula, localização na sala e sensações térmicas.

Os questionários foram aplicados na estação de verão e inverno, um dia após a realização das medidas em sala. A aplicação aconteceu no período da manhã e da tarde, onde a pesquisa foi sincronizada com o horário das medições do dia anterior, totalizando duas pesquisas em cada sala de aula. Tomou-se o cuidado para que as condições térmicas e climáticas estivessem semelhantes ao dia em que foram realizadas as medições.

3.6. Simulações

O processo de simulação é composto basicamente por três fases conectadas entre si. A primeira consiste na caracterização do edifício; a segunda na simulação propriamente dita e a terceira na análise dos resultados. Para a caracterização do edifício, é indispensável o fornecimento de dados do ponto de vista geométrico e construtivo, para que sejam geradas duas bases de dados, sendo uma referente às propriedades termofísicas de cada elemento primitivo, e outra relativa às soluções construtivas das envoltivas do edifício (paredes, cobertura, superfícies) e que são definidas a partir da combinação de tais elementos primitivos.

Ainda uma terceira base de dados é gerada a partir da caracterização dos ganhos internos de calor, ou seja, da definição das taxas de ocupação, de utilização de iluminação e equipamentos diversos (dados operativos).

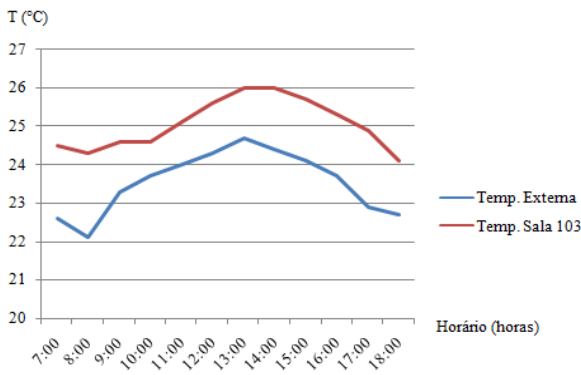
Para a definição de um modelo computacional confiável, uma das opções é comparar dados obtidos por simulação com dados de medições no edifício. Utilizou-se nas simulações as mesmas datas em que foram realizadas as coletas de dados, para que se tivesse uma resposta coerente.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

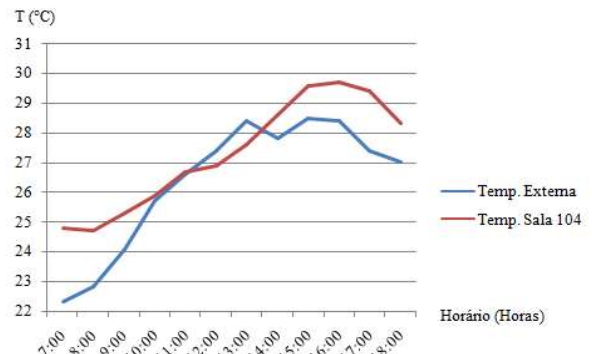
4.1. Dados de medições *in loco*

4.1.1 - Medições de verão

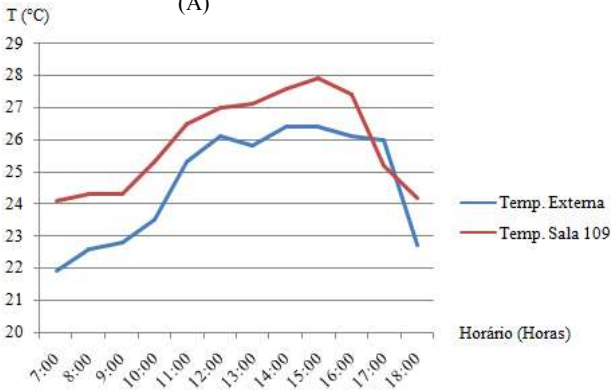
As temperaturas das salas de aula (Figura 08) se mantiveram acima da temperatura externa durante praticamente todo o período de medições, sendo que no período da manhã, observou-se um limite de conforto aceitável para todas as salas. Esse limite é o estabelecido pela ASHRAE 55 (2010). Avaliando ainda a umidade relativa do ar (Figura 09) temos que para todas as salas em quase todo o período diário a umidade externa é menor do que a interna, sendo que a umidade externa é maior apenas no período da manhã até no máximo 11 horas.



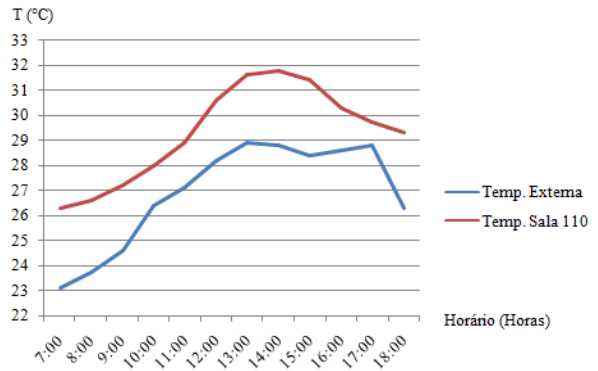
(A)



(B)

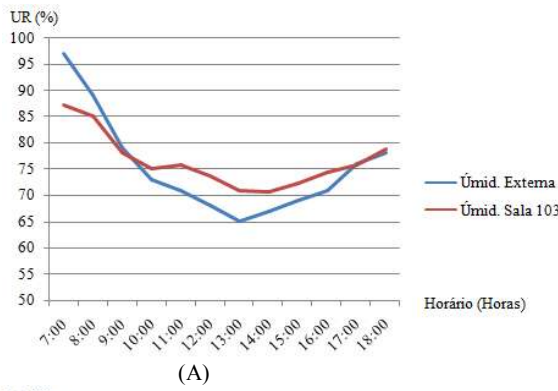


(C)

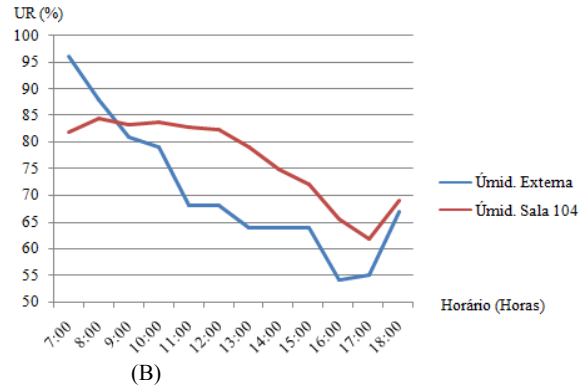


(D)

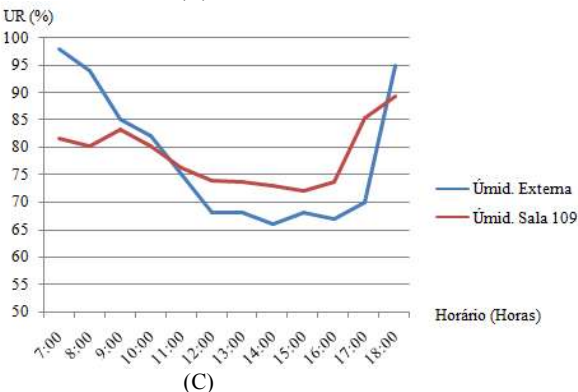
Figura 08 - (A) Temperatura do ar sala 103; (B) Temperatura do ar sala 104; (C) Temperatura do ar sala 109; (D) Temperatura do ar sala 110.



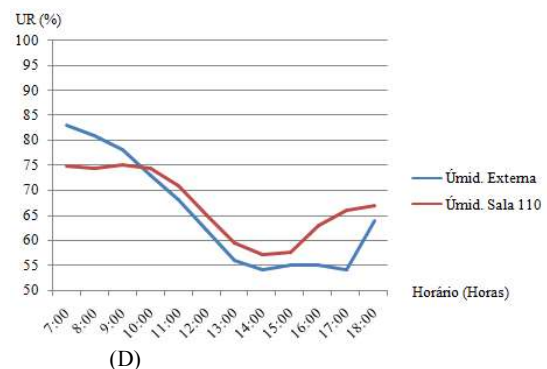
(A)



(B)



(C)



(D)

Figura 09 - (A) Umidade relativa do ar sala 103; (B) Umidade relativa do ar sala 104; (C) Umidade relativa do ar sala 109; (D) Umidade relativa do ar sala 110.

4.1.2 - Medições de inverno

As temperaturas das salas de aula (Figura 10) se mantiveram acima da temperatura externa durante praticamente todo o período de medições, exceto para a sala 109, onde no período da tarde a temperatura externa foi maior do que a interna. Observa-se ainda um limite de conforto aceitável para todas as salas tanto no período da manhã quanto da tarde. Avaliando ainda a umidade relativa do ar (Figura 11) temos que para

as salas 103 e 109 a umidade externa foi menor durante quase todo o período de medições, enquanto que para as salas 104 e 110 a umidade externa foi superior a interna em quase todo o período diário.

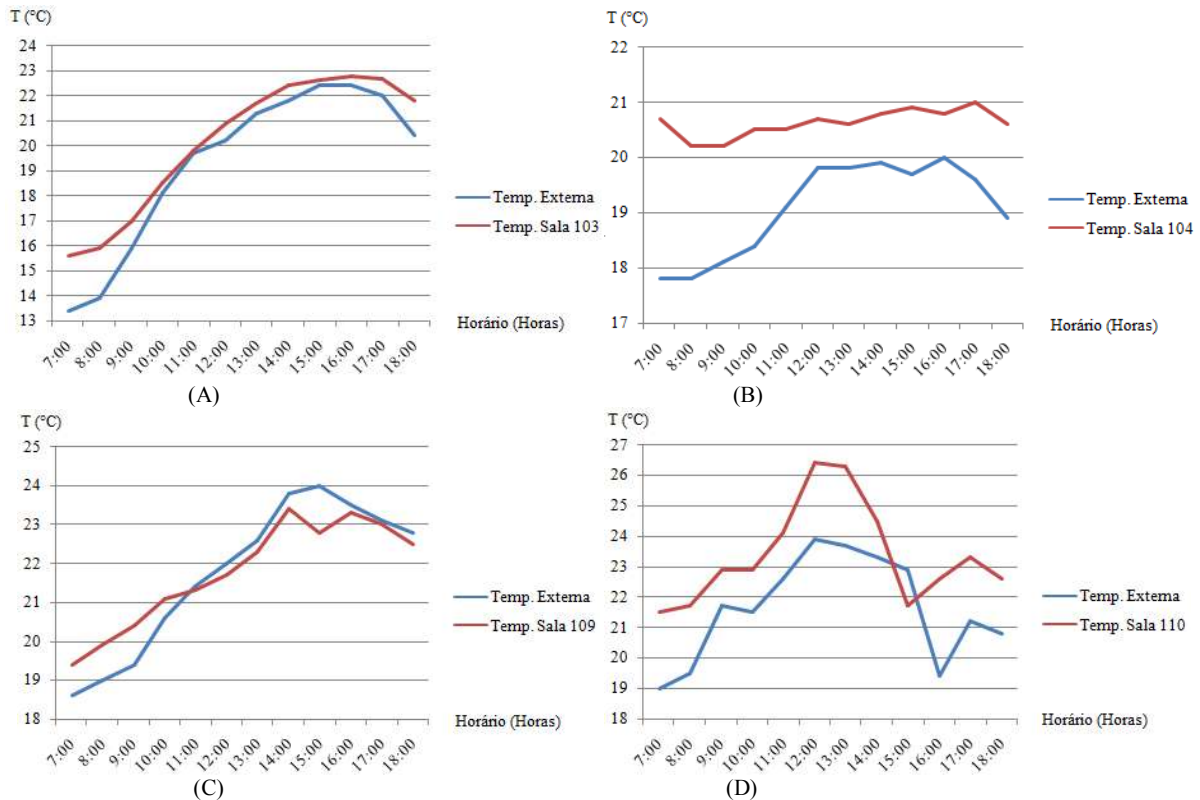


Figura 10 - (A) Temperatura do ar sala 103; (B) Temperatura do ar sala 104; (C) Temperatura do ar sala 109; (D) Temperatura do ar sala 110.



Figura 11 - (A) Umidade relativa do ar sala 103; (B) Umidade relativa do ar sala 104; (C) Umidade relativa do ar sala 109; (D) Umidade relativa do ar sala 110.

4.2. Dados de simulação

4.2.1. Dados de simulação de verão

As temperaturas simuladas das salas de aula (Figura 12) se mantiveram acima da temperatura externa durante praticamente todo o período simulado, exceto para a sala 104, onde no período das 11 hrs até as 14 hrs a temperatura externa foi maior do que a interna.

Avaliando ainda a umidade relativa do ar (Figura 13) temos que para todas as salas em quase todo o período diário a umidade externa é menor do que a interna, sendo que a umidade externa é maior apenas no período da manhã até no máximo 11 horas.

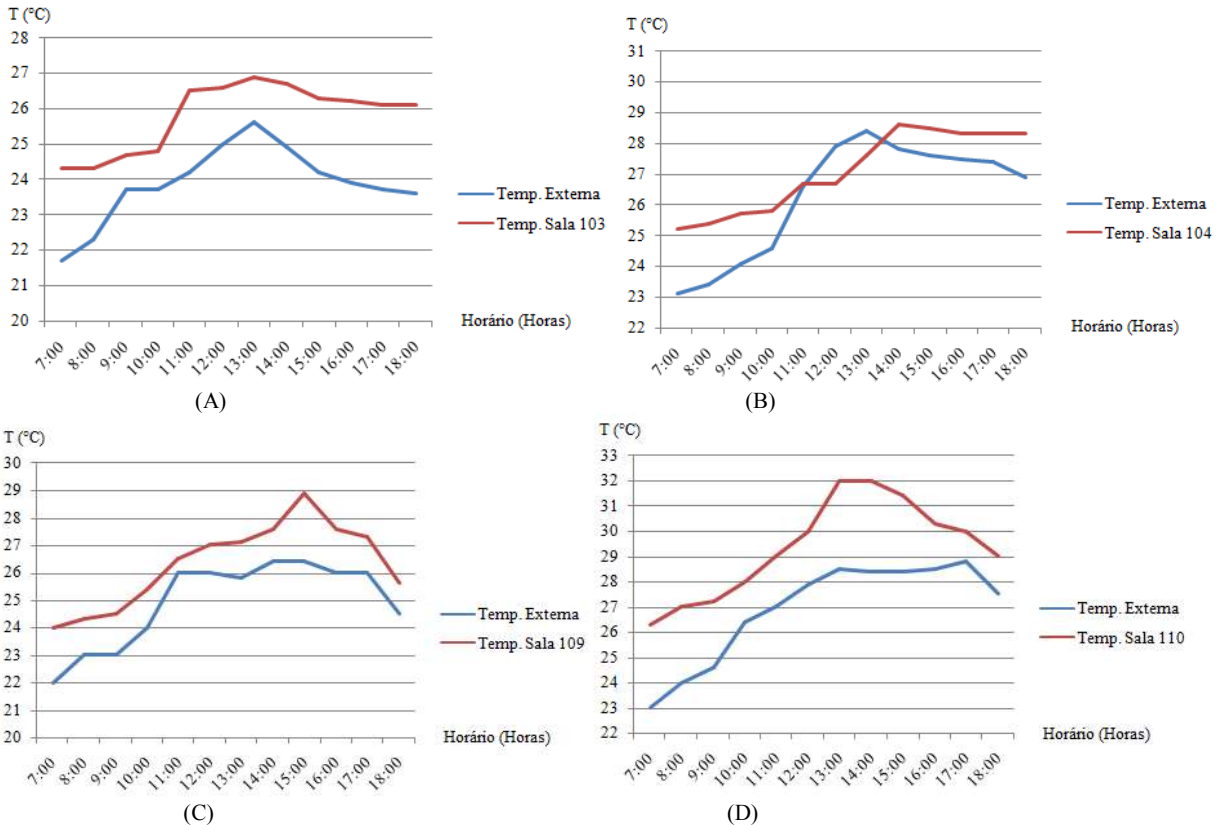
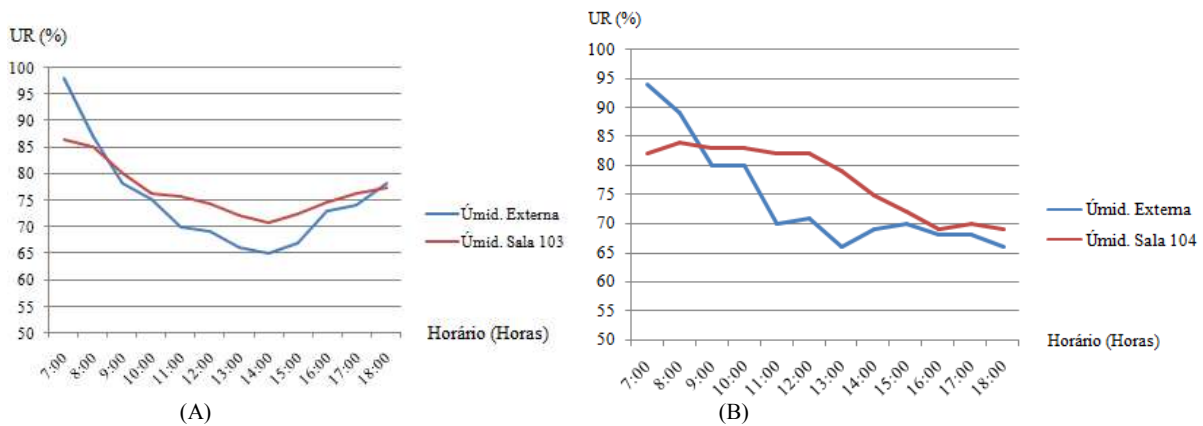


Figura 12 - (A) Temperatura do ar sala 103; (B) Temperatura do ar sala 104; (C) Temperatura do ar sala 109; (D) Temperatura do ar sala 110.



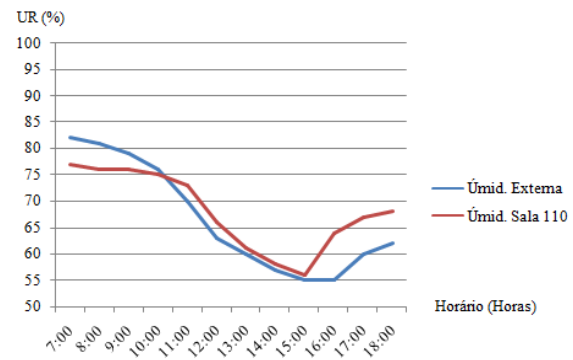
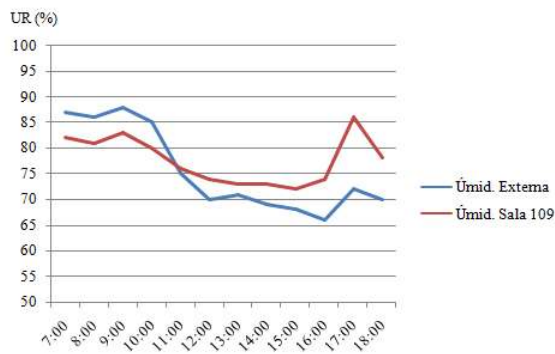


Figura 13 - (A) Umidade relativa do ar sala 103; (B) Umidade relativa do ar sala 104; (C) Umidade relativa do ar sala 109; (D) Umidade relativa do ar sala 110.

4.2.2 - Dados de simulação de inverno

As temperaturas das salas de aula (Figura 14) se mantiveram acima da temperatura externa durante praticamente todo o período de medições, exceto para a sala 109, onde no período da tarde a temperatura externa foi maior do que a interna. Observa-se ainda um limite de conforto aceitável para todas as salas tanto no período da manhã quanto da tarde. Avaliando ainda a umidade relativa do ar (Figura 15) temos que para as salas 103 e 109 a umidade externa foi menor durante quase todo o período de medições, enquanto que para as salas 104 e 110 a umidade externa foi superior a interna em quase todo o período diário.

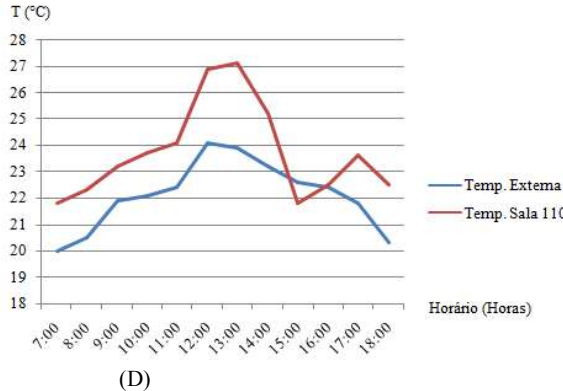
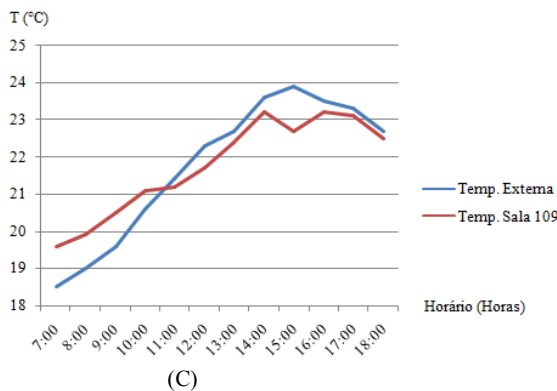
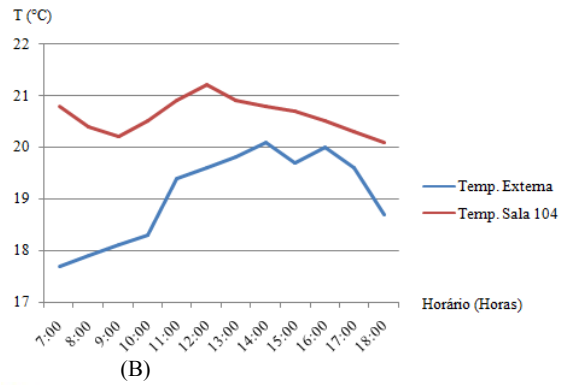
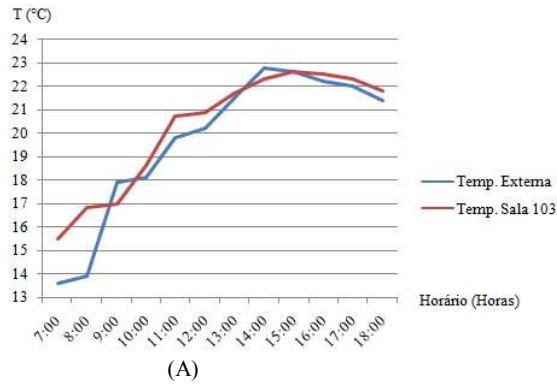
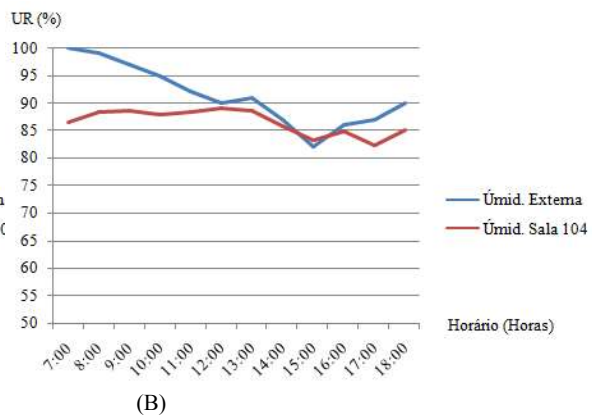
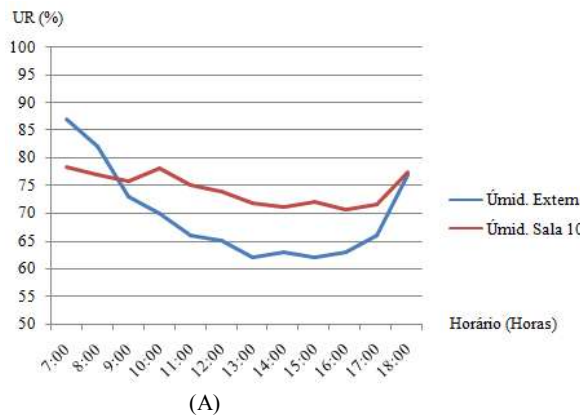


Figura 14 - (A) Temperatura do ar sala 103; (B) Temperatura do ar sala 104; (C) Temperatura do ar sala 109; (D) Temperatura do ar sala 110.



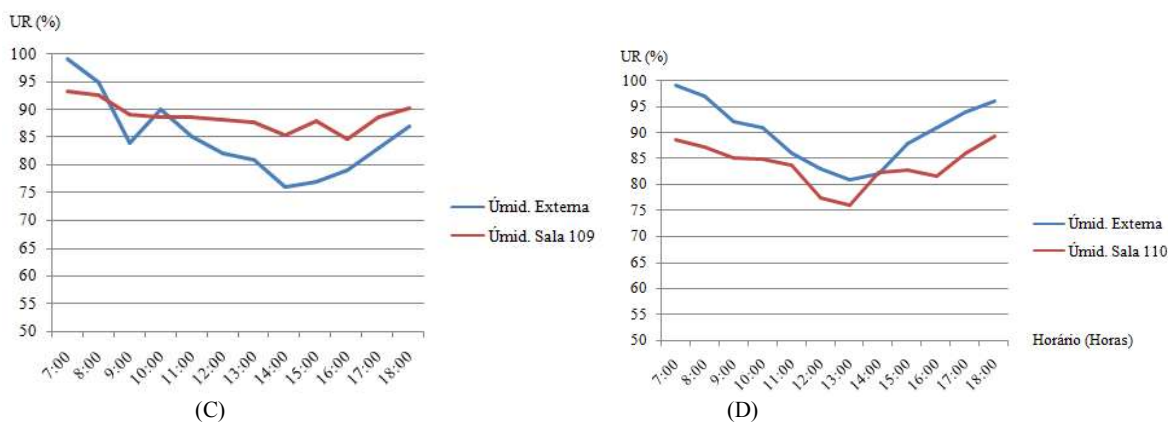


Figura 15 - (A) Umidade relativa do ar sala 103; (B) Umidade relativa do ar sala 104; (C) Umidade relativa do ar sala 109; (D) Umidade relativa do ar sala 110.

5. CONCLUSÕES

As simulações aqui realizadas foram feitas de modo a representar com fidelidade as edificações da Universidade Estadual de Maringá. Porém, alguns materiais e elementos no *DesignBuilder* tiveram limitações quanto à disponibilidade em sua biblioteca, e algumas propriedades dos mesmos, não sendo possível obedecer rigidamente a todos os pontos.

Com os valores apresentados, considera-se que os resultados finais proporcionaram uma boa proximidade entre os simulados e registrados, com erro médio de 1,4°C entre eles, na situação e objeto de estudo propostos. Dessa forma, permite-se constatar que o aplicativo *DesignBuilder* 1.2 é uma boa ferramenta de simulação.

Concluiu-se que a simulação de edificações naturalmente ventiladas ainda é uma tarefa complexa devido às limitações dos programas de simulação de desempenho térmico, da complexidade do fenômeno de escoamento do ar, da influência das condições de contorno e dos registros climáticos.

No estudo comparativo realizado considerou-se que houve uma razoável concordância entre as temperaturas medidas e simuladas no período de análise. No entanto, é necessário ressaltar que, dependendo dos ajustes necessários a serem realizados no aplicativo computacional pelo usuário do mesmo, as diferenças entre os resultados medidos e simulados poderão ser diferentes.

Por fim, conclui-se que o aplicativo computacional *DesignBuilder* 1.2 trata-se de uma ferramenta de simulação computacional que possui um potencial para o propósito que foi desenvolvido, mas que precisa passar por ajustes para maior confiabilidade de sua utilização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GHISI, E.; PEREIRA, C. **Calibração de um modelo computacional de uma residência unifamiliar localizada em Florianópolis**. X Encontro Nacional e VI Encontro Latino- Americano de Conforto no Ambiente Construído. Natal, setembro de 2009.
- JANNUZZI, G. M., DANELLA, M. A., SILVA, S. A. S. **Metodologia para avaliação da aplicação dos recursos dos programas de eficiência energética**. International Energy Initiative – Latin América. Energy Discussion Paper No. 2.60-01-04. Campinas, SP, 2004.
- LARSEN, S. F.; FILIPPÍN, C.; BEASCOCHEA, A.; LESINO, G. **An experience on integrating monitoring and simulation tools in the design of energy-saving buildings**. Energy and Buildings, v. 40; p. 987-997, 2008.
- MARSH, A. **Performance Analysis and conceptual design**. School of Architecture and Fine Arts, The University of Western Australia, 1997.
- MOURSHED, M.M, KELLIHER, D, KEANE, M. **Integrating simulation in design: Integrating building energy simulation in the design process**. College Station: The journal of the International Building Performance Simulation Association, 2003.
- OLIVEIRA, A. G. **Proposta de Método para Avaliação do desempenho de residências unifamiliares em clima quente-úmido**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN – PPGAU. Dissertação de Mestrado. Natal/RN, 2006.