

## CALIBRAÇÃO DE EDIFÍCIO INSTITUCIONAL NA CIDADE DE CAMPINAS – SP

**Luciana O. Fernandes (1); Lucila C. Labaki (2)**

(1) Mestre, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Tecnologia e Cidade,  
[luarq@fec.unicamp.br](mailto:luarq@fec.unicamp.br)

(2) PhD, Professor do Departamento de Arquitetura e Construção, [lucila@fec.unicamp.br](mailto:lucila@fec.unicamp.br)  
Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Cx Postal  
6143, Campinas-SP, 13083-889, Tel.: (19) 3521 2064

### RESUMO

Neste trabalho é apresentado o procedimento de calibração do modelo computacional de um edifício educacional. O edifício em estudo comporta atividades de uso misto e possui sistema de condicionamento de ar em alguns ambientes. As temperaturas internas de dois ambientes e o consumo total de energia elétrica foram medidos durante sua ocupação. Por meio de visitas foi possível atualizar o projeto arquitetônico existente, elaborar o projeto dos sistemas de iluminação e condicionamento de ar e quantificar os equipamentos ligados à tomada. Entrevistas com funcionários do prédio e da prefeitura do campus viabilizaram a caracterização dos materiais construtivos e do uso das salas. As dificuldades encontradas durante o levantamento e a elaboração do modelo computacional são apresentadas. Os resultados da calibração foram analisados através do cálculo do *Coefficient of Variation of the Root Mean Squared Error*, CV(RMSE) e do *Normalized Mean Bias Error* (NMBE). Apenas os valores de temperatura interna obtidos por simulação apresentaram erros aceitáveis (NMBE próximo a 0,00 e CV(RMSE) em torno de 0,02).

Palavras-chave: simulação computacional, calibração, desempenho termo-energético.

### ABSTRACT

The procedure of calibration of a computer model based on an educational building is presented. The studied building comprises mixed uses and has cooling system in some rooms. Indoor temperatures from two rooms and total energy use were measured during its occupation. By means of visits it was possible to update the existing project, the lighting and cooling system, and to quantify the plugged equipment. Interviews with employees allowed the characterization of the building material and the use of the rooms. The difficulties found during measurements and modeling are presented. The results of the calibration were analyzed through the calculation of the *Coefficient of Variation of the Root Mean Squared Error*, CV(RMSE), and the *Normalized Mean Bias Error* (NMBE). Only the internal temperature values presented acceptable errors (NMBE close to 0,00 and CV(RMSE) around 0,02).

Keywords: computer simulation, calibration, thermal-energetic performance.

## 1. INTRODUÇÃO

A simulação computacional tem sido uma importante ferramenta de apoio ao processo de *retrofit* de edificações. Com ela é possível avaliar o desempenho de diferentes medidas de conservação de energia sob diversos aspectos (IQBAL; AL-HOMOUD, 2007; KUUSK; KALAMEES; MAIVEL, 2014; SAILOR; ELLEY; GIBSON, 2011). Em processos de *retrofit*, um dos principais fins à qual a simulação computacional serve é o de quantificar a economia de energia que uma ou mais estratégias pode proporcionar (ZMEUREANU, 1990; KUMBAROGLU; MADLENER, 2012; de SANTOLI *et al.*, 2014).

Pode-se dizer que uma simulação eficaz é o resultado da combinação do conhecimento dos fenômenos físicos atuantes e do domínio da ferramenta de simulação (WESTPHAL; LAMBERTS, 2005). Os fenômenos físicos presentes no ambiente, combinados às características da própria edificação, influenciam no seu desempenho (seja ele térmico, energético ou ambiental). Com conhecimento e domínio da ferramenta computacional, o simulador pode ser capaz de traduzir o que acontece na escala do edifício e do seu entorno num modelo numérico.

O modelo numérico deve ser refinado durante a modelagem com a finalidade de representar, com a maior fidelidade possível, o desempenho do edifício real. Esse processo é conhecido como calibração do modelo computacional. Sem isso, a economia de energia estimada por simulação computacional pode ser diferente da efetivamente atingida após o *retrofit* (ZMEUREANU; PASQUALETTO; BILAS, 1995). A diferença entre desempenho previsto e efetivo também pode resultar das diferenças de uso e ocupação do edifício (GUL; PATIDAR, 2014; FENG; YAN; HONG, 2014). Entretanto, este não é o tema central do presente estudo.

Durante a calibração trabalha-se com as incertezas de parâmetros que são difíceis de quantificar. Atualmente encontram-se disponíveis diferentes procedimentos desenvolvidos para auxiliar simuladores a lidar com essas incertezas (HEO; CHOUDHARY; AUGENBROE, 2012; SILVA; GHISI, 2014; EISENHOWER *et al.*, 2011).

Diversos métodos de calibração podem ser encontrados na literatura (BOU-SAADA; HABERL, 1995; CARRILLO; DOMINGUEZ; CEJUDO, 2009; COAKLEY; RAFTERY; MOLLOY, 2012; KORAN; KAPLAN; STEELE, 1992; LEE; WESTPHAL; LAMBERTS, 2002). Grande parte se concentra no desempenho energético do edifício condicionado artificialmente. Talvez isso ocorra pela facilidade de obtenção de dados reais (disponibilidade de contas mensais de energia elétrica), pela maior previsibilidade das variações térmicas internas ou pela maior preocupação com a economia de energia do que com o conforto térmico dos usuários.

A qualidade da calibração pode ser estimada por diferentes indicadores. Os mais utilizados são: o *Coefficient of Variation of the Root Mean Squared Error - CV(RMSE)* - e o *Normalized Mean Bias Error - NMBE* - (YOON; LEE, 1999; BROWN; BARRINGTON; BROWN, 2012; SUN *et al.*, 2014; CIPRIANO *et al.*, 2015), utilizados no presente estudo. Estes indicadores representam, basicamente, a diferença entre os dados obtidos por meio de simulação e por medições no edifício real. A ASHRAE (ASHRAE, 2002) estabelece os limites aceitáveis desses indicadores estatísticos para dados disponíveis em intervalos horários ou mensais. O modelo computacional cujo resultado esteja dentro destes limites é considerado validado pela diretriz.

## 2. OBJETIVO

O objetivo do estudo é apresentar o procedimento adotado para a calibração de temperaturas internas e consumo de energia a partir do modelo computacional de um edifício institucional localizado em Campinas.

## 3. MÉTODO

A calibração do modelo computacional se deu a partir da escolha e levantamento de dados de um edifício institucional representativo da tipologia e a partir da sua modelagem no programa *EnergyPlus* 8.1.0 para a simulação termoenergética. O processo de calibração do modelo computacional é detalhado nas seguintes etapas:

1. monitoramento de temperatura interna e do sistema elétrico e,
2. análises de sensibilidade.

### 3.1. O edifício escolhido

O edifício estudado abriga o Instituto de Filosofia e Ciências Humanas (IFCH) localizado no campus da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) em Campinas, SP (Figura 1). Ele possui três pavimentos e

foi escolhido por apresentar tipologia semelhante a outros edifícios do campus (Figura 2), comportar atividades comuns a edifícios de finalidade educacional (atividades administrativas, de ensino e pesquisa), além de viabilizar a instalação dos medidores.



Figura 1 - Localização do prédio do IFCH na Unicamp.  
Fonte: Google Maps, 2013.



Figura 2 - Vista da entrada do prédio do IFCH (Sudoeste).  
Fonte: arquivo pessoal.

### 3.2. Levantamento de dados

O projeto arquitetônico disponível continha somente as paredes externas ao edifício e suas aberturas. A atualização do projeto (ver planta do primeiro pavimento na Figura 3), assim como a caracterização de seus materiais e componentes construtivos, foi possível através de visitas ao local e entrevistas com funcionários do prédio e do setor de obras do campus. Nesta fase também foram levantadas informações sobre o uso e a ocupação do edifício e seus sistemas de iluminação e condicionamento de ar.



Figura 3 - Planta baixa do primeiro piso.

#### 3.2.1. Uso do edifício

O edifício comporta atividades com rotinas particulares. No primeiro piso, a secretaria de Pós-Graduação (todas as salas da asa esquerda), a sala de Publicações e a Gráfica têm uso regular com horários definidos de entrada e saída. O piso intermediário é ocupado por salas com uso agendado pelos professores para aulas ou reuniões. No terceiro pavimento, além de salas de aula e de defesa de tese cujo uso é agendado, encontram-se salas de grupos de pesquisa e de professores com uso irregular e esporádico. Os horários de uso e ocupação dos ambientes foram levantados com base nas informações concedidas durante as entrevistas e em observações do local.

#### 3.2.2. Cargas internas e sistemas

Durante as visitas ao prédio foram listados todos os equipamentos de tomada em uso, lâmpadas e aparelhos condicionadores de ar. As potências dos equipamentos foram obtidas por meio de suas etiquetas, de medição de corrente ou foram estimadas através de catálogos. O número de ocupantes dos ambientes foi determinado por observações durante as visitas. Entretanto, esse número foi objeto de análise de sensibilidade, já que este é um parâmetro que pode variar a cada vez que o ambiente é ocupado.

Os ambientes foram agrupados em zonas térmicas pelo padrão de uso e ocupação e presença ou não de condicionadores de ar. Alguns ambientes que apresentavam condicionadores de ar podem não ter sido

modelados como tal por apresentarem uso muito esporádico e irregular dos mesmos (como é possível observar na Tabela 1).

Tabela 1 - Distribuição de condicionadores de ar nos ambientes reais e zonas térmicas modeladas.

Zona térmica	Edifício	Modelo	Zona térmica	Edifício	Modelo
<b>PRIMEIRO PISO</b>			<b>SEGUNDO PISO</b>		
Secretaria	sim	sim	10A	sim	não
Sala 01	sim	sim	11A	sim	sim
Sala 02	sim	sim	12A	sim	sim
Recepção	sim	sim	13A	sim	sim
Circulação	não	não	Circulação	não	não
Depósito do almoxarifado	sim	não	10B	sim	não
Depósito	sim	não	12B	Sim	sim
Publicações	sim	sim	13B	sim	não
Gráfica	sim	sim	14B	sim	sim
<b>TERCEIRO PISO</b>					
21A	sim	não	Ceres	sim	sim
22A	sim	sim	16B	sim	não
23A	sim	sim	21B	sim	não
24A	sim	sim	22B	sim	não
Sala de Tese	sim	não	23B-B	não	não
Circulação	não	não	28	sim	sim

### 3.3. Modelagem no programa *EnergyPlus*

O modelo computacional criado no programa *EnergyPlus* é formado por zonas térmicas. Essas zonas representam o agrupamento de ambientes do edifício real que possuam mesmas características construtivas e condições térmicas e de ocupação semelhantes. Na Figura 4 apresenta-se o modelo computacional do edifício para simulação.

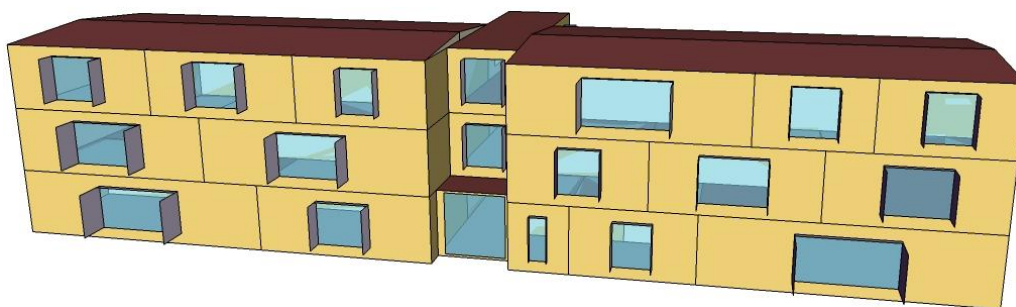


Figura 4 - Modelo de zonas térmicas no programa *EnergyPlus*.

Todas as salas possuíam mesmas propriedades construtivas. Aquelas que não estavam sendo monitoradas, que possuíam perfil de ocupação semelhante (presença de usuários e uso de equipamentos e sistemas) e mesma orientação geográfica, foram agrupadas na mesma zona térmica. Cada sala monitorada foi modelada como uma única zona térmica. As zonas térmicas do primeiro pavimento estão representadas na Figura 5.

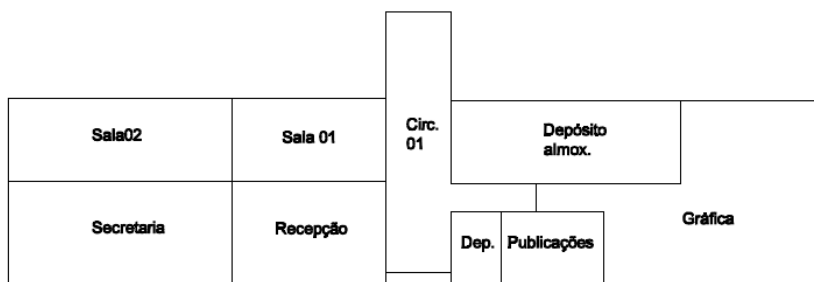


Figura 5- Zonas térmicas do primeiro piso.

As propriedades térmicas dos elementos construtivos heterogêneos do edifício foram calculadas para a obtenção de componentes equivalentes. Esses componentes equivalentes foram modelados no *EnergyPlus* como camadas homogêneas.

O arquivo climático disponível para a cidade de Campinas foi editado somente com dados de temperatura externa obtidas pela estação meteorológica do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI) localizada no campus da Unicamp.

Por se tratar de um edifício de pequeno porte, as temperaturas médias mensais do solo foram consideradas nas simulações. Os condicionadores de ar foram modelados conforme a capacidade e COP (*Coefficient of Performance*) obtidos durante a etapa de levantamento. Para o modelo base não foram consideradas ventilação natural nem infiltração de ar.

As aberturas das zonas térmicas foram modeladas com a mesma área envidraçada das salas que a compunham. As aberturas do edifício real são sombreadas por elementos estruturais que se estendem por toda altura do edifício e modulam suas larguras. Um sombreamento equivalente foi calculado para cada área envidraçada do modelo que representasse o mesmo ângulo de sombreamento existente.

Foram elaborados quatro *schedules* de ocupação e de uso de equipamentos. Os *schedules* de ocupação foram nomeados e atribuídos às zonas térmicas conforme demonstrado na Tabela 2, a partir de entrevistas e análise do padrão de uso de energia do edifício. A configuração de intervalos horários de cada um é detalhada na Tabela 3.

Tabela 2 - Nome dos *schedules* e zonas térmicas às quais foram atribuídos.

<i>Schedule</i>	Zonas
Pos	14B, 12B, 12A, 11A, 13A e 24A (salas de aula)
Sec	Secretaria, Salas 01 e 02 e Recepção
Graf	Gráfica
Off	Ceres, 23A, 22A, 21B (salas de pesquisa) e Publicações.

Tabela 3 - Horário de ocupação configurado para cada *schedule*.

<i>Schedule</i>	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pos <sup>1</sup>														
Sec														
Graf														
Off														

Apesar da variação no número de ocupantes, esse parâmetro foi considerado constante na simulação. O acionamento dos aparelhos condicionadores de ar por vezes ocorre em paralelo à abertura de portas e/ou janelas, o que foi desconsiderado na simulação devido à sua imprevisibilidade.

### 3.4. Calibração do modelo – monitoramento de variáveis

Para calibração do modelo computacional as temperaturas internas e consumo de eletricidade foram monitoradas simultaneamente.

O edifício estudado, assim como outros do campus, não possui medidor de energia e, consequentemente, não apresenta contas de energia. Sendo assim, foram coletados os dados que o equipamento permitia: tensão e corrente do sistema elétrico no período de 08 a 15 de Abril de 2013. Devido à falta de divisão dos circuitos elétricos por uso final de energia, os dados correspondem ao uso de energia total do edifício.

Para o monitoramento de temperatura interna, foram escolhidos dois ambientes por pavimento da edificação. Para o presente estudo de calibração somente a Secretaria e a Gráfica foram analisadas, por serem ambientes localizados no térreo, de uso regular e com condicionamento artificial. O período de medição das temperaturas internas foi de 07 a 17 de Abril de 2013. Durante este período a edificação estava sendo ocupada normalmente.

<sup>1</sup> Horário de ocupação de segunda à quinta. Às sextas-feiras o período compreendido é de 10:00 às 17:00.

### 3.5. Calibração do modelo - análises de sensibilidade

Devido à incerteza para determinação dos valores de certos parâmetros é necessário realizar uma análise de sensibilidade do modelo em relação aos mesmos. A análise de sensibilidade consiste na variação, a partir de um modelo base, dos valores daqueles parâmetros considerados de maior importância para calibração do modelo (maior interferência no desempenho), e cujos valores exatos sejam desconhecidos.

Para o presente estudo foram variados os seguintes parâmetros: número de ocupantes dos ambientes, temperatura de resfriamento dos aparelhos condicionadores de ar, número de renovações de ar por hora e perfil de ocupação. A simulação foi feita para o ano inteiro, mas somente os dados do período de 08 a 10 de Abril foram considerados para a calibração.

#### 3.5.1. Número de ocupantes em todas as salas

A partir do modelo base (100% de ocupantes), testou-se a ocupação de todos os ambientes com 50% da sua ocupação máxima. Esta ocupação foi definida com base em observações durante a fase de levantamento.

#### 3.5.2. Temperatura de resfriamento

Os próprios usuários controlam a temperatura de resfriamento dos aparelhos condicionadores de ar. Devido a esta condição instável, foram testadas duas temperaturas de resfriamento a partir da observação das temperaturas internas medidas: 25°C e 26°C em todas as zonas. Essas são as temperaturas máximas a partir das quais o condicionador de ar é acionado.

#### 3.5.3. Renovações de ar

Foram testadas três taxas de renovação de ar por hora para todos os ambientes: uma e três durante o período de ocupação da zona, e uma durante a noite.

#### 3.5.4. Perfil de ocupação

A presença de diferentes cargas internas (pessoas, iluminação, equipamentos e aparelhos condicionadores de ar) foi considerada simultânea em todas as simulações. Foram testadas duas situações para os *schedules* "Pos" e "Sec": a primeira, no caso base, sem intervalo para almoço (ou seja, ausência de pessoas e equipamentos durante um determinado intervalo de horas) e a segunda com intervalo para almoço, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - *Schedules* com intervalo de almoço.

<i>Schedule</i>	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pos													
Sec													

Na Tabela 5, observa-se as características iniciais do modelo base que foram alteradas durante a análise de sensibilidade.

Tabela 5 - Resumo das propriedades do modelo base (Sim 01).

	Ocupantes	Temperatura de resfriamento	Renovações de ar por hora	Intervalo de almoço
Modelo base (sim01)	100%	25°C	0	não

Um resumo da análise de sensibilidade é apresentado na Tabela 6. As modificações foram feitas a todas as zonas, exceto nos casos em que é especificado em qual zona a alteração foi feita.

Tabela 6 - Resumo das alterações na análise de sensibilidade.

Modelo	Descrição
Sim01	Caso base.
Sim02	Sim 01 + 50% de ocupação.
Sim03	Sim 01 + temperatura de resfriamento = 26°C.
Sim04	Sim 03 + temperatura de resfriamento da Gráfica = 25°C + uma renovação de ar por hora.
Sim05	Sim 04 + três renovações de ar por hora.
Sim06	Sim 03 + temperatura de resfriamento da Gráfica = 25°C + uma renovação de ar por hora à noite.
Sim07	Sim 01 + temperatura de resfriamento da secretaria = 26°C, das demais zonas = 25°C.
Sim08	Sim 07 + intervalo de almoço nas zonas.
Sim09	Sim 08 + temperatura de resfriamento da Secretaria e da Gráfica = 26°C e das demais zonas = 25°C.

Os indicadores estatísticos recomendados pela ASHRAE (ASHRAE, 2012) utilizados para análise da calibração foram: o *Coefficient of Variation of the Root Mean Squared Error*, CV(RMSE) (descrito pela Equação 1) e o *Normalized Mean Bias Error*, NMBE (descrito pela Equação 2).

$$CV = \frac{\sqrt{\frac{\sum(m_i - s_i)^2}{n - 1}}}{\bar{m}_i} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

$m_i$  = dado medido [°C ou kWh];

$s_i$  = dado simulado [°C ou kWh];

$n$  = número de dados do período considerado;

$\bar{m}_i$  = média aritmética da amostra de  $n$  observações [°C ou kWh].

$$NMBE = \frac{\frac{\sum(m_i - s_i)}{n - 1}}{\bar{m}} \quad \text{Equação 2}$$

Conforme a recomendação, os valores limites do CV(RMSE) e do NMBE são de 30% e de 10%, respectivamente. Modelos que apresentem dados horários dentro desses limites são considerados calibrados.

#### 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Foram comparados os dados de temperatura da Secretaria e da Gráfica e do consumo total do edifício com os obtidos através das simulações. O período considerado foi entre os dias 08 e 10 de Abril, dias em que foi observado um padrão representativo da ocupação do prédio (tanto na temperatura interna quanto no consumo de energia).

O consumo de energia obtido por simulação mostrou-se coerente ao padrão de uso diário de eletricidade do prédio no período considerado (Figura 6). Entretanto, não foi possível traduzir com maior exatidão os picos de energia que ocorreram no período da tarde. Tais picos podem ocorrer devido às máquinas existentes na Gráfica que, apesar de terem sido consideradas nas simulações, são utilizadas esporadicamente, dificultando sua modelagem. Com isso o erro obtido ficou fora do intervalo aceitável para validação, com o CV(RMSE) igual a 0,40 e NMBE, 0,16.

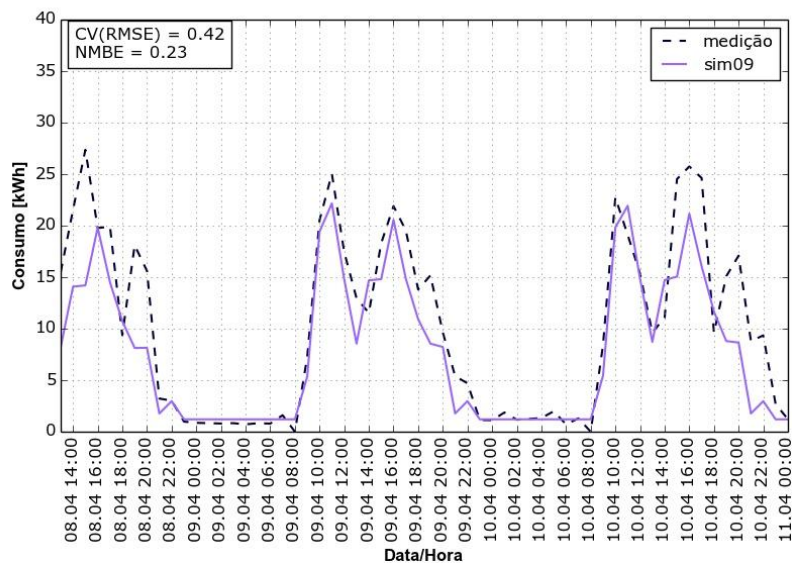


Figura 6- Consumo de energia total medida e simulada.

As temperaturas estimadas da Secretaria (Figura 7) e da Gráfica (Figura 8) apresentam variações semelhantes às medições. Nota-se que, de maneira geral, o modelo representa bem a variação de temperatura ao longo do dia. Esses ambientes são artificialmente resfriados, resultando num comportamento térmico aproximadamente periódico que facilita sua modelagem no programa.

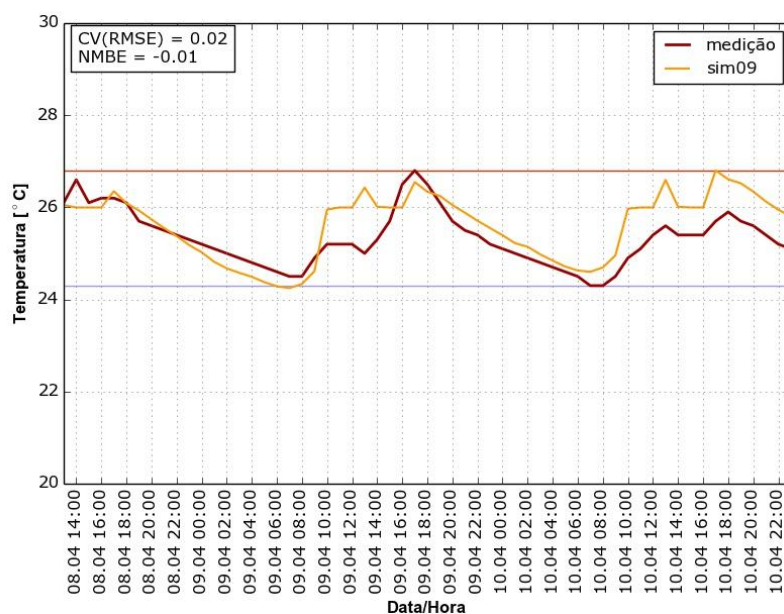


Figura 7 - Temperatura medida e simulada da Secretaria.



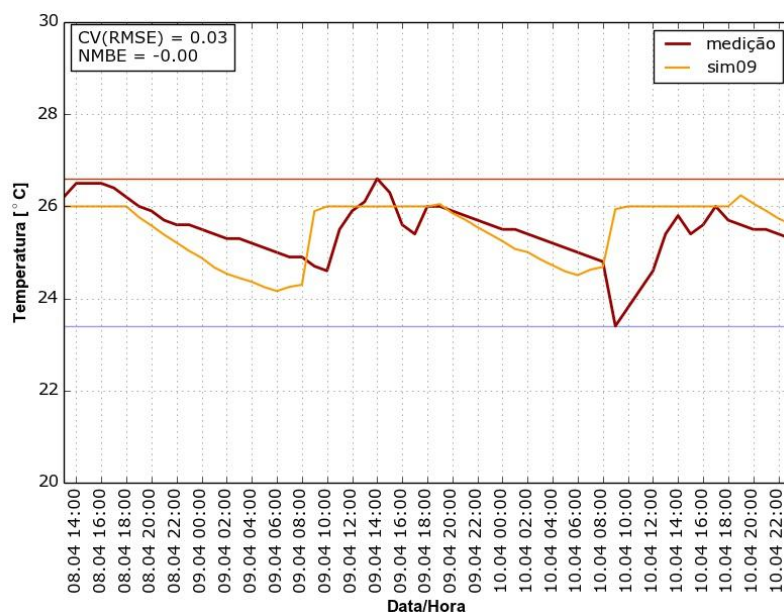


Figura 8 - Temperatura medida e simulada da Gráfica.

Na Tabela 7 e na Tabela 8 são apresentadas as diferenças de temperatura encontradas entre dados medidos e simulados e os erros calculados.

Tabela 7 - Resumo dos valores de erro obtidos na análise de sensibilidade para temperaturas internas.

Modelo	Temperaturas internas de 08 a 10 de Abril							
	Secretaria				Gráfica			
	Mín °C	Máx °C	CV(RMSE)	NMBE	Mín °C	Máx °C	CV(RMSE)	NMBE
Sim01	0,00	2,20	0,03	0,01	0,00	2,34	0,04	0,01
Sim02	0,00	2,25	0,03	0,01	0,02	5,21	0,08	-0,04
Sim03	0,00	2,53	0,03	0,00	0,00	3,11	0,04	0,00
Sim04	0,00	2,50	0,03	0,00	0,00	2,30	0,04	0,01
Sim05	0,00	2,33	0,03	0,00	0,00	2,30	0,03	0,01
Sim06	0,00	3,68	0,05	0,02	0,06	3,86	0,06	0,03
Sim07	0,00	2,53	0,03	0,00	0,00	2,34	0,04	0,01
Sim08	0,00	2,52	0,03	0,00	0,00	2,37	0,04	0,01
Sim09	0,00	2,52	0,03	0,00	0,00	3,10	0,04	0,00

Tabela 8 - Resumo dos valores de erro obtidos na análise de sensibilidade para consumo de energia.

Consumo de energia de 08 a 10 de Abril					
Modelo	CV(RMSE)	NMBE	Modelo	CV(RMSE)	NMBE
Sim01	0,55	0,08	Sim06	0,56	0,14
Sim02	0,59	0,18	Sim07	0,55	0,08
Sim03	0,56	0,14	Sim08	0,53	0,18
Sim04	0,59	0,14	Sim09	0,53	0,19
Sim05	0,65	0,16			

Para a variável temperatura interna, todos os modelos ficaram dentro dos limites aceitáveis de erro. Já para o consumo de energia, somente os modelos Sim01 e Sim07 apresentaram NMBE dentro dos limites. Nestes modelos predomina a temperatura de resfriamento de 25°C dos condicionadores de ar.

## 5. CONCLUSÕES

A fase de levantamento durante o processo de *retrofit* é de extrema importância. Quanto mais informações são obtidas acerca do edifício em estudo, menos tempo é gasto com a calibração do modelo computacional e

maior a confiabilidade do mesmo. Um arquivo climático com dados coerentes com o entorno em que está inserido o edifício é essencial.

As limitações deste estudo foram: não ter à disposição dados de radiação solar da estação meteorológica referenciada, de temperatura externa mais próxima ao edifício e falta da divisão dos circuitos por uso final para uma coleta mais detalhada de dados. O uso irregular de determinados ambientes dificultou a estimativa do uso de cargas e de ocupação por simples observação e entrevistas. Este fato incorreu num modelo cujo desempenho energético ficou fora dos intervalos de erros aceitáveis.

Quanto às temperaturas dos ambientes considerados, obteve-se boa representação do edifício estudado. O uso de condicionadores de ar durante o período de ocupação facilitou o processo de modelagem.

Apesar de todas as dificuldades encontradas, foi possível comprovar que através de observação, entrevistas e medições de curto prazo é possível elaborar modelos computacionais que apresentem um desempenho coerente com o edifício real que representam.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Guideline 14-2002, Measurement of Energy and Demand Savings**. Atlanta, 2002.
- BOU-SAADA, T. E.; HABERL, J. S. An improved procedure for developing calibrated hourly simulation models. **Building Simulation**. Madison: [s.n.], p. 475–484, 1995.
- BROWN, M. A., BARRINGTON-Leigh, C. BROWN, Z. Kernel regression for real-time building energy analysis. **Journal of Building Performance Simulation**, 5 (4), pp. 263-276, 2012.
- CARRILLO A., DOMINGUEZ F., CEJUDO J. Calibration of an EnergyPlus simulation model by the STEM-PSTAR method. **11 Internacional IBPSA Conference**, pp: 2043-2050, 2009.
- CIPRIANO J., MOR G., CHEMINSANA D., PÉREZ D., GAMBOA G., CIPRIANO X. Evaluation of a multi-stage guided search approach for the calibration of building energy simulation models. **Energy and Buildings**, vol: 87, pp: 370-385, 2015.
- COAKLEY D., RAFTERY P., MOLLOY P. Calibration of whole building energy simulation models: detailed case study of a naturally ventilated building using hourly measured data. **1 Building Simulation and Optimization Conference**, pp: 57-64, 2012.
- DEGELMAN L., SOEBARTO V. Whole building energy performance - Simulation and prediction for retrofits.
- EISENHOWER B., O'NEILL Z., FONOBEROV V, MEZIC I. Uncertainty and sensitivity decomposition of building energy models. **Journal of Building Performance Simulation**, 2011.
- FENG X., YAN D., HONG T. Simulation of Occupancy in Buildings. **Energy and Buildings**, vol: 87 pp: 348-359, 2014.
- GUL M., PATIDAR S. Understanding the energy consumption and occupancy of a multi-purpose academic building, **Energy and Buildings**, vol: 87 pp: 155-165, 2014.
- HEO Y., CHOUDHARY R., AUGENBROE G. Calibration of building energy models for retrofit analysis under uncertainty. **Energy and Buildings**, vol: 47 pp: 550-560, 2012.
- IQBAL I., AL-HOMOUD M. Parametric analysis of alternative energy conservation measures in an office building in hot and humid climate. **Building and Environment**, vol: 42 pp: 2166-2177, 2007.
- KORAN W., KAPLAN M., STEELE T. Two DOE-2.1C model calibration methods. **ASHRAE/DOE/BTECC Conference**. 1992
- KUMBAROGLU G., MADLENER R. Evaluation of economically optimal retrofit investment options for energy savings in buildings. **Energy and Buildings**, vol: 49 pp: 327-334, 2012.
- KUUSK K., KALAMEES T., MAIVEL M. Cost effectiveness of energy performance improvements in Estonian brick apartment buildings. **Energy and Buildings**, vol: 77 pp: 313-322, 2014.
- LEE A., WESTPHAL F., LAMBERTS R. Calibração de um modelo de simulação através de medições de curto prazo: Estudo de caso no departamento de engenharia civil da UFSC. **9 Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, pp: 277-286, 2002.
- SAILOR D., ELLEY T., GIBSON M. Exploring the building energy impacts of green roof design decisions - A modeling study of buildings in four distinct climates. **Journal of Building Physics**, vol: 35 (4) pp: 372-391, 2011.
- de SANTOLI L., FRATICELLI F., FORNARI F., CALICE C. Energy performance assessment and a retrofit strategies in public school buildings in Rome. **Energy and Buildings**, vol: 68 pp: 196-202, 2014.
- SILVA A., GHISI E. Uncertainty analysis of the computer model in building performance simulation. **Energy and Buildings**, vol: 76 pp: 258-269, 2014.
- SUN K., YAN D., HONG T., GUO S. Stochastic modeling of overtime occupancy and its application in building energy simulation and calibration. **Building and Environment**. vol: 79 pp: 1-12, 2014
- WESTPHAL F., LAMBERTS R. Building simulation calibration using sensitivity analysis. **9 International IBPSA Conference**, pp: 1331-1338, 2005.
- YOON J., LEE E. Calibration procedure of energy performance simulation model for a commercial building. **Building Simulation**, pp: 8, 1999.
- ZMEUREANU R. Assessment of the energy savings due to the building retrofit. **Building and Environment**, vol: 25 (2) pp: 95-103, 1990.
- ZMEUREANU R, PASQUALETTO L., BILAS F. Comparison of cost and energy saving in an existing large building as predicted by three simulation programs. **Building Simulation**, pp: 8, 1995.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a colaboração dos funcionários da Unicamp durante o estudo e o apoio das agências de fomento: CAPES, FAPESP e CNPq.