



XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Avanços no desempenho das construções – pesquisa, inovação e capacitação profissional

12, 13 E 14 DE NOVEMBRO DE 2014 | MACEIÓ | AL

AUTOMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE SIMULAÇÃO DE ENERGÉTICA DE UMA EDIFICAÇÃO HOTELEIRA EM 8 ZONAS BIOCLIMÁTICAS BRASILEIRAS

ALMEIDA, André (1); Gioielli, Beatriz (2); Cunha, Eduardo (3); Ferrugem, Anderson (4)

(1) UFPel, (53) 8136-6196, e-mail: abdalmeida@inf.ufpel.edu.br (2) UFPel, e-mail: beagioielli@gmail.com, (3) UFPel, e-mail: eduardogralacunha@yahoo.com.br, (4) UFPel, e-mail: ferrugem@inf.ufpel.edu.br

RESUMO

Esse artigo é fruto de uma pesquisa que tem como objetivo principal analisar o impacto de pontes térmicas no desempenho energético de edificações hoteleiras nas 8 zonas Bioclimáticas brasileiras. O artigo tem como ênfase a apresentação e discussão do método de otimização e análise do grande número de simulações realizadas. O processo de simulação atualmente é parcialmente manual. A estratégia apresentada oferece um processo totalmente automatizado. Para realizar as simulações e as análises, foi desenvolvido uma ferramenta, compostas por três algoritmos para facilitar o processo de simulação e automatiza-lo. Foi utilizado o software BCVTB, que possibilita realizar simulações a partir de troca de dados entre outros softwares, em conjunto com os softwares Energy Plus e Design Builder, que permitem a modelagem, configuração e análise do desempenho térmico e energético de edificações. Foi utilizado também o software MATLAB, o qual possibilita o controle das simulações a partir de regras. A otimização das simulações permitiu que a partir do desenvolvimento de três algoritmos fosse possível realizar as simulações de 576 configurações de forma sistematizada sem a necessidade de operação e análise individual das configurações.

Palavras-chave: BCVTB, EnergyPlus, simulação de eficiência energética, Matlab.

ABSTRACT

This paper is the result from a research that aims to identify the impact of thermal bridge in the energy efficiency performance of hotel buildings in the eight bioclimatic zones in Brazil. The paper emphasis is the energy efficiency simulation method optimization. The energy efficiency simulation process is not optimized. The presented method to develop the work is totally optimized. In order to carry out the simulations was developed a tool defined by three algoritms, which allow the optimization from the simulation process.

It was used the software BCVTB, that allows to carry out the simulations using the dates from another softwares like Energy Plus and DesignBuilder, used to energy model of the building and also to analyse the energy performance of the buildings. It was used also the software Matlab, which allows the simulations control through defined rules.

Keywords: *simulations optimization, energy efficiency simulation.*

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a simulação computacional do desempenho termoenergético de edificações evoluiu muito. Os softwares tornaram-se mais amigáveis possibilitando uma aprendizagem mais rápida e sólida por parte de pesquisadores e profissionais que atuam na área de Desempenho Térmico e Eficiência Energética de Edificações. A avaliação do desempenho termoenergético de edificações é regulada pelas normas de desempenho térmico (NBR 15575 e NBR 15220) e Regulamentos de Eficiência Energética de Edificações (RTQ-C e RTQ-R). Nestas normas e regulamentos encontramos o método de simulação computacional como uma das formas de avaliar o desempenho termoenergético de edificações.

Quando realizamos uma simulação do desempenho termoenergético de uma edificação criamos um modelo computacional dinâmico manipulável a partir das especificações estruturais de uma ou mais edificações, levando em conta a zona climática avaliada com base na definição de um arquivo climático. O software de simulação termoenergética, considerando o arquivo climático, calcula o balanço térmico da edificação fornecendo vários dados de saída, como temperatura do ar, temperatura radiante, consumo de energia, entre outras variáveis possíveis. Dentro desse contexto modela-se um caso base e a partir de modificações desejadas de características do envelope, uso e ocupação, equipamentos e sistemas é possível realizar um grande número de simulações analisando conseqüentemente os resultados. Dependendo das necessidades do estudo realizado o número de simulações pode ficar na casa do milhar. Nesse sentido, tem-se buscado formas de otimizar o trabalho quando são desenvolvidas muitas simulações termoenergéticas de edificações. Uma das formas de racionalizar o trabalho de alteração de variáveis – configuração, e análise de resultados é a automação da simulação computacional.

O termo automação pode ser utilizado para especificar a aplicação de técnicas de diversas origens visando diminuir ou eliminar a interferência humana, ao mesmo tempo que busca otimizar o processo em termos de custo, energia ou desempenho.

Em decorrência da complexidade do processo de otimização de uma simulação termoenergética, o foco deste artigo é caracterizar um processo de automação realizado em uma análise. Para a realização das simulações energéticas foi utilizado o software Building Controls Virtual Test Bed (BCVTB), que realiza a interface entre softwares de controle e simulação a partir de troca de mensagens e dados. Foram desenvolvidos algoritmos para que os softwares pudessem comunicar-se e realizar as variações necessárias para o desenvolvimento do estudo. Algoritmo é uma seqüência de instruções definidas para realizar uma determinada tarefa, cada uma das quais pode ser executada mecanicamente num período de tempo finito e com uma quantidade de esforço finita (Alan Turing, 1936).

Ao BCVTB está integrado o EnergyPlus, um software para modelagem do desempenho do edifício que permite simular o desempenho térmico e energético de edificações. E também o Matlab, o qual possibilita o controle das simulações a partir de regras. Este por sua vez é uma ferramenta computacional flexível, que pode ser adaptada às reais necessidades de cada usuário.

2. OBJETIVO

O artigo tem como objetivo aplicar a automatização computacional das simulações energéticas por meio de algoritmos desenvolvidos especificamente para o problema em conjunto com os softwares já utilizados para realizar as simulações energéticas.

2.1 Apresentação do objetivo da pesquisa matriz

A pesquisa proposta tem como principal objetivo analisar o impacto das pontes térmicas de concreto armado de edifícios de hotelaria no desempenho termoenergético observando o contexto climático das 8 zonas bioclimáticas brasileiras. Em decorrência do grande número de simulações, observando que foram analisados diferentes condições de DCI (densidade de carga interna de equipamentos) e DPI (densidade de potência de iluminação), foi desenvolvido no trabalho a otimização do trabalho com base na automação do processo de simulação (foco deste artigo).

3. METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida em três etapas. Na primeira, foi definida a configuração do caso base, considerando o trabalho de Carlo (2008) como referência. Na segunda etapa foi definido o modelo de referência das pontes térmicas. A terceira etapa é o foco desse artigo, o mesmo apresenta uma nova estratégia para simulações energéticas de forma totalmente automatizada.

3.1 Apresentação do caso base

Para que seja executada uma simulação precisamos do arquivo de configurações do software EnergyPlus chamado de IDF (Input Data File). Esse arquivo contém todas as informações e configurações para a simulação. Como podemos ver no Quadro 1, foram utilizados três diferentes arquivos IDF como base. No desenvolvimento do trabalho as três configurações base foram modeladas em dois sistemas, com pontes térmicas e sem pontes térmicas. Essas configurações foram modeladas e configuradas pelo software Design Builder. Para cada uma das oito zonas bioclimáticas brasileiras foram configurados e simulados os casos-base e as variações de DPI e DCI.

Quadro 1 – Configuração base

PAFT	Iluminação	Equipamentos
30%	6W/m ²	11W/m ²
45%	6W/m ²	11W/m ²
60%	6W/m ²	11W/m ²

3.2 Definição e geração de novos IDFs

A ideia de um processo de simulação automatizado se deu a partir da quantidade de dados, analisados e gerados manualmente. Com as configurações base definidas, partimos para o processo de geração de novos IDFs. Esse processo se deu com o desenvolvimento de um algoritmo para realizar a análise dos dados e modifica-los para geração dos novos dados. Processo esse que anteriormente era totalmente manual e demandava muito tempo de trabalho repetitivo, agora é totalmente automatizado por meio da aplicação do algoritmo desenvolvido.

Para a geração de IDFs com novas configurações é necessário calcular o novo valor das variáveis, *Densign Equipament Level*, para modificar as propriedades de carga de interna de equipamentos e *Densign Lighting Level*, para modificar as propriedades da densidade de potência de iluminação. Aplicando as seguintes equações:

$$Densign\ Equipament\ Level = \frac{DPI(base)}{DCI(base)} \times DPI(novo) \quad (1)$$

$$Densign\ Lighting\ Level = \frac{DPI(base)}{DCI(base)} \times DPI(novo) \quad (2)$$

onde, DPI = densidade de potência de iluminação;
DCI = densidade de carga interna;

O algoritmo abre de forma automática um arquivo IDF com uma das 3 configurações de PAFT (percentual de fechamento de transparente de 30%, 45% e 60%). No Quadro 2 podemos ver todas as 12 configurações diferentes geradas para cada PAFT. Gerando 36 configurações diferentes, sendo analisadas com pontes térmicas e sem pontes térmicas. No total de 72 configurações por zona bioclimática.

A pesquisa visa simular computacionalmente todas essas configurações para as 8 zonas bioclimáticas do Brasil. Calculando temos 8 vezes 72 configurações, no total de 576 simulações energéticas.

Quadro 2 – Todas as configurações

Iluminação	Equipamentos
6W/m ²	10.8W/m ²
6W/m ²	12.4W/m ²
6W/m ²	14.0W/m ²
6W/m ²	15.7W/m ²
11W/m ²	10.8W/m ²
11W/m ²	12.4W/m ²
11W/m ²	14.0W/m ²
11W/m ²	15.7W/m ²
21W/m ²	10.8W/m ²
21W/m ²	12.4W/m ²
21W/m ²	14.0W/m ²
21W/m ²	15.7W/m ²

Como podemos ver na Figura 1, são inseridas ao final de cada novo IDF as seguintes regras de saída, para que o simulador gere resultados baseados na quantidade de energia gasta em iluminação, equipamentos, aquecimento e refrigeração.

Figura 1 – Definição das regras de saída para os arquivos IDF

```
37426 OutputControl:Table:Style,  
37427   TabAndHTML,           !- Column Separator  
37428   JtoKWH;              !- Unit Conversion  
37429  
37430 OutputControl:IlluminanceMap:Style,  
37431   Tab;                  !- Column Separator  
37432  
37433 Output:Meter,InteriorLights:Electricity,hourly;  
37434 Output:Meter,InteriorEquipment:Electricity,hourly;  
37435 Output:Meter,DistrictHeating:Facility,hourly;  
37436 Output:Meter,DistrictCooling:Facility,hourly;
```

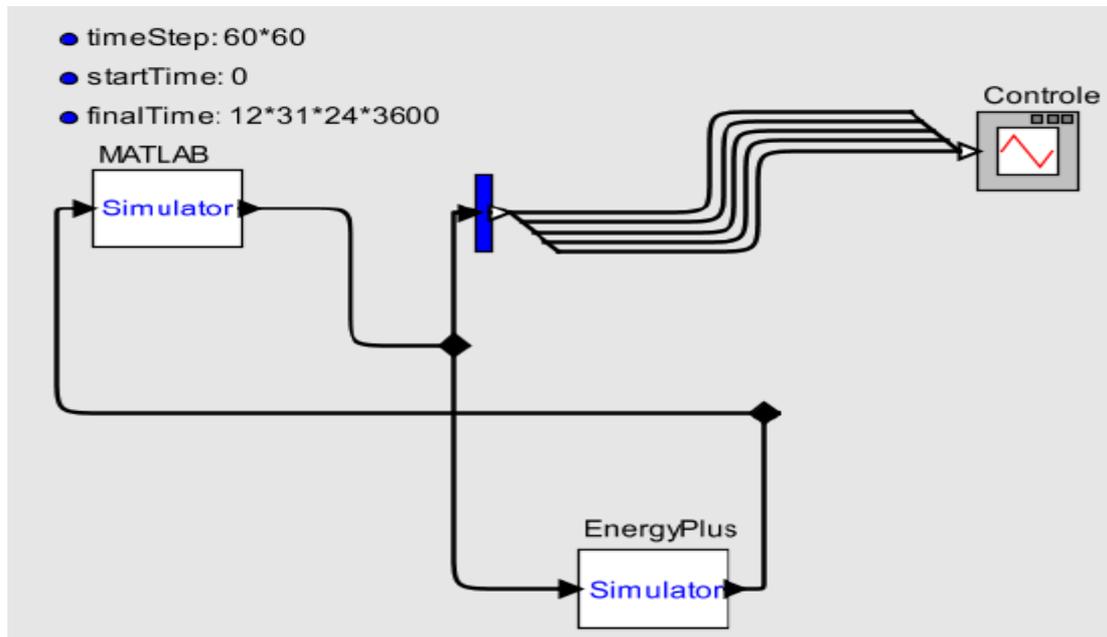
3.3 Configuração do BCVTB

Com todos os IDFs já gerados, a próxima etapa é a simulação. Nessa etapa o BCVTB é executado. O BCVTB é um software gerenciado a atores, para controlar suas variáveis. Para gerar um sistema de simulação é necessário interligar os softwares utilizados.

O BCVTB permite tanto a execução através de sua interface, como também via linha de comando. Isso pode ser explorado usando qualquer linguagem de programação. Foi desenvolvido então um outro algoritmo, o qual tem a função de executar o BCVTB, para cada IDF.

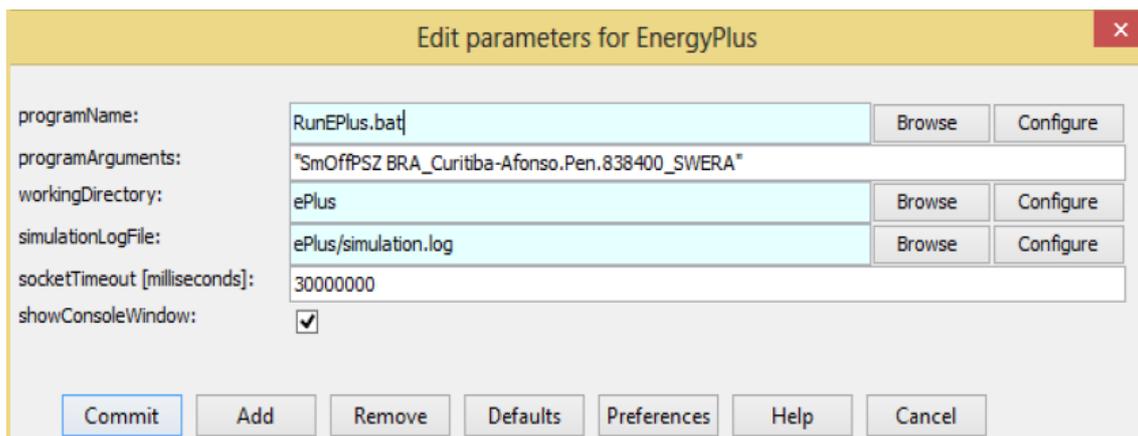
Posteriormente foram ajustadas as variáveis de entrada do BCVTB, *startTime*, *finalTime* e *timeStep*, tempo de início da simulação, tempo final da simulação e atualização de dados respectivamente. Na Figura 2 podemos ver essas variáveis já configuradas e também mostra interface de ligação entre os softwares utilizados na simulação virtual, Energy Plus e MATLAB.

Figura 2 – Interface de ligação no BCVTB



Também é possível editar a zona climática diretamente pelo BCVTB. Nessa pesquisa foram utilizadas oito diferentes zonas climáticas, Curitiba (Zona 1), Santa Maria (Zona 2) e Florianópolis (Zona 3), Brasília (Zona 4), Vitória da Conquista (Zona 5), Campo Grande (Zona 6), Cuiabá (Zona 7) e Manaus (Zona 8) . Na Figura 3 pode ser observado como é feita a seleção da zona climática adotada na simulação.

Figura 3 – Seleção da zona bioclimática no BCVTB



Após realizadas todas as configurações de inicialização no BCVTB, o mesmo gera um arquivo 'system.xml', com todos os dados para as simulações salvos. A ferramenta então pode ser executada, chamando o BCVTB de forma automática a cada execução.

3.4 Saídas geradas pelo BCVTB

Foram gerados valores de hora em hora desde o dia primeiro de janeiro até o dia 31 de dezembro. Os valores são exportados para um arquivo CSV e sua unidade de medida da saída é dada em Joule [J] e é transformada em Quilo Watts Horas [kWh].

3.5 Algoritmo de análise dos dados de saída

Por fim, um último algoritmo que compõe a ferramenta desenvolvida para a automação do sistema de simulações energéticas. Esse tem a função de análise dos dados finais gerados pelo BCVTB.

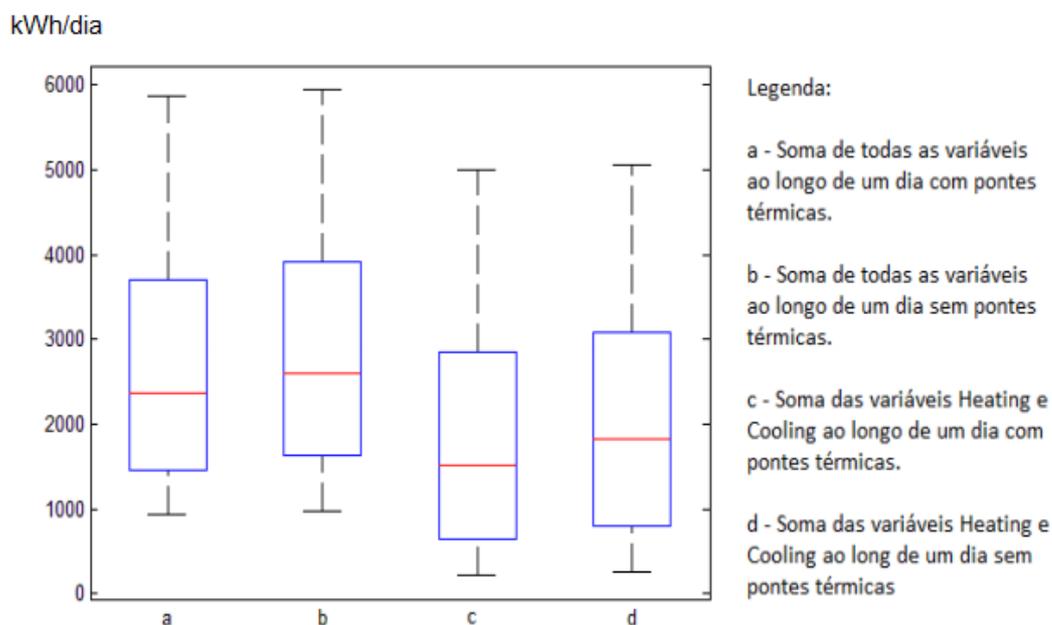
A partir da análise dos dados, é gerada uma tabela para cada uma das 72 configurações diferentes nas oito zonas bioclimáticas do Brasil. Na tabela é apresentado o valor de consumo de iluminação, equipamentos, aquecimento e resfriamento, comparando os dados com pontes térmicas e sem pontes térmicas.

Figura 4 – Dados de saída finais – consumo (kWh ano e kWh/dia)

Resultados com e sem pontes para PAFT 30 - DCI 11Wm2 - DPI 10.8Wm2 - Zona 1					
Consumo	Lighting	Equipment	Heating	Cooling	Total
Dia com o maior consumo - Com pontes	417.3	840.0	0.0	5429.8	6687.1
Dia com o maior consumo - Sem pontes	417.3	840.0	0.0	5492.6	6749.9
Consumo anual - Com pontes	1215070.2	3571420.8	284863.4	8783373.9	13854728.3
Consumo anual - Sem pontes	1215070.2	3571420.8	147129.0	9984224.8	14917844.8
Consumo	Heating	Cooling	Total	Diferença	
Dia com o maior consumo - Com pontes	0.0	5429.8	5429,8	10.49% mais que com pontes	
Dia com o maior consumo - Sem pontes	0.0	5492.6	5492,6		
Consumo anual - Com pontes	284863.4	8783373.9	9068237,3		
Consumo anual - Sem pontes	147129.0	9984224.8	10131353,8		

Para a análise do consumo kWh/dia ao longo de uma ano, o método estatístico conhecido como mediana foi escolhido. A mediana é uma medida de tendência central que indica exatamente o valor central de uma amostra de dados. Foi escolhida a mediana ao invés da média, normalmente utilizada em análises, pois ela demonstra de uma maneira mais eficiente.

Figura 5 – Dados de saída finais – consumo (análise do kWh/dia ao longo de um ano, segundo a mediana)



A Figura 5 foi gerada automaticamente a partir da biblioteca boxplot no MATLAB. Nela temos um gráfico de consumo de kWh/dia ao longo de um ano para Zona 1, PAFT 30%, DCI 6Wm² e DPI 10,8Wm². Nela podemos ver que são indicados três principais valores importantes, o primeiro deles é a faixa em vermelho que indica a mediana. Nas extremidades temos o valor máximo e mínimo entre os valores analisados. Observando o gráfico é possível analisar os resultados sem que seja necessário o uso de planilhas eletrônicas, otimizando, portanto, a própria análise de resultados.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados das simulações considerando os softwares e processos já descritos, podem ser analisados observando dois enfoques: o do processo de trabalho, como também enfatizando os resultados obtidos. Em ambos os enfoques destacamos a otimização do tempo para a realização das atividades de simulação e análise de resultados. Observando os resultados, destaca-se que os mesmos já vem apresentados em gráficos que permitem uma melhor visualização e melhor entendimento.

Do ponto de vista da otimização do tempo de realização das simulações, ressalta-se que uma das principais ideias da pesquisa é a otimização com que os arquivos IDFs são gerados, a gama de simulações virtuais, a partir de uma grande variação de configurações, executadas para todas as zonas bioclimáticas do Brasil.

Em relação ao tempo de execução, em um cálculo aproximado, cada simulação energética com pontes térmicas demora em média aproximadamente 7 minutos e sem pontes térmicas 4 minutos. Calculando temos 288 vezes 7 minutos e 288 vezes 4 minutos, um total de 3168 minutos. Transformando para horas, são 52,8 horas de simulação.

Quadro 2 – Comparação entre de tempo entre as simulações

Simulação	Manual	Otimizada
Com pontes termicas	12 minutos	7 minutos
Por zona bioclimática	7,2 horas	4,2 horas
Todas as zonas	57,6 horas	33,6 horas
Sem pontes termicas	7 minutos	4 minutos
Por zona bioclimática	4,2 horas	2,4 horas
Todas as zonas	33,6 horas	19,2 horas
Com pontes + Sem pontes	91,2 horas	52,8 horas

Esse tempo é associado a execução automática, quando tratamos da estratégia anteriormente utilizada, onde a cada simulação há uma interação com o software de simulação virtual, o tempo perdido é imensurável.

Dentro do mesmo contexto, o cálculo de tempo pode ser feito para a geração de novos IDFs. A partir dos casos base, temos 576 arquivos diferentes, e para cada um é necessário a realização da configuração da variação de DCI e DPI, o que também consome bastante trabalho.

5 CONCLUSÃO

Como conclusões deste artigo destacam-se dois aspectos: primeiramente a otimização do tempo de trabalho. O desenvolvimento de algoritmos para a automatização das simulações foi bastante útil. Todo o trabalho repetitivos e manual das simulações foi substituído de uma maneira bem eficiente e prática, assim como a geração de resultados. Além da análise dos dados se tornou mais fácil e clara, tendo tabelas e gráficos exemplificando os valores gerados pela simulação virtual no BCVTB gerados automaticamente.

Como segundo aspecto da conclusão do artigo vincula-se à abordagem do perfil da equipe de trabalho. Para a realização de um trabalho de otimização das simulações computacionais é necessário a consolidação de uma atividade de trabalho interdisciplinar, em decorrência da complexidade do processo como um todo. Além do domínio de ferramentas da simulação de desempenho termoenergético de edificações, incluindo o entendimento do repertório necessário para configurar, modelar e analisar os resultados, é necessário também o domínio de um conjunto de outras ferramentas que possibilitam que tanto a alteração da configuração dos modelos como também a própria organização dos resultados possa ser realizada.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro: 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575**: Edificações Habitacionais. Rio de Janeiro: 2013.

TURING, A. M. **On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem.** Proceedings of the London Mathematical Society, 1936.

CARLO, Joyce Correna. **Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina. UFSC, 2008.