

JOSÉ EDUARDO CORRÊA SANTANA E SILVA

AVALIAÇÃO DE INDICADORES DE DESEMPENHO ENERGÉTICO EM  
EDIFICAÇÕES CLIMATIZADAS

---

São Paulo

2009

**JOSÉ EDUARDO CORRÊA SANTANA E SILVA**

**AVALIAÇÃO DE INDICADORES DE DESEMPENHO ENERGÉTICO EM  
EDIFICAÇÕES CLIMATIZADAS**

Trabalho de Formatura apresentado à  
Escola Politécnica da Universidade de São  
Paulo para a obtenção do título de  
Graduação em Engenharia

São Paulo  
2009

**JOSÉ EDUARDO CORRÊA SANTANA E SILVA**

**AVALIAÇÃO DE INDICADORES DE DESEMPENHO ENERGÉTICO EM  
EDIFICAÇÕES CLIMATIZADAS**

Trabalho de Formatura apresentado à  
Escola Politécnica da Universidade de São  
Paulo para a obtenção do título de  
Engenheiro Mecânico

Área de Concentração:  
Energia

Orientador: Alberto Hernandez Neto

São Paulo  
2009

## FICHA CATALOGRÁFICA

**Silva, José Eduardo Corrêa Santana e**  
**Avaliação de indicadores de desempenho energético de edificações climatizadas / J.E.C.S. e Silva. – São Paulo, 2010.**  
**52 p.**

**Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.**

**1. Indicadores de produtividade 2. Energia (Eficiência) 3. Edifícios de escritórios 4. Indicadores de produtividade I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica II. t.**

## **Dedicatória**

Dedico este trabalho à minha mãe, que me criou com tanto carinho.

## **Agradecimentos**

Agradeço a todos que me apoiaram durante a confecção deste trabalho. Agradeço meu orientador, Prof. Dr. Alberto Hernandez Neto, pela sua paciência e disponibilidade.

Agradeço meu colega e amigo pessoal Engenheiro Flávio Bomfim Mariana, pelas conversas e auxílio no início do trabalho.

Gostaria de agradecer também a todos os meus colegas e amigos pessoais, que me apoiaram tantas vezes durante minha graduação.

Por fim, agradeço a minha mãe Alice, por estar sempre presente em todos os momentos da minha vida.

Uma longa viagem de mil  
milhas inicia-se com o  
movimento de um pé.

Lao Tsé

## Resumo

O presente trabalho destina-se à definição e simulação de uma edificação climatizada que atenda às normas ASHRAE 90.1 (2004) e ABNT NBR 16401-1 (2008) para análise da sensibilidade de indicadores de desempenho perante a variação de diversos parâmetros que afetam o desempenho energético do edifício. As simulações foram realizadas no programa *Energy Plus*, que é reconhecido como uma importante ferramenta para a previsão de consumos e perfis térmicos de um edifício sustentável. Em um primeiro momento é definido o modelo do pavimento a ser utilizado, abrangendo os materiais de construção, a quantidade e as dimensões das zonas térmicas, o modelo do pavimento a ser utilizado e a razão entre área envidraçada e área de fachada. Em seguida, foram estudados os indicadores de desempenho energético mais utilizados disponíveis, e alguns destes foram selecionados para análise de sensibilidade em relação a parâmetros de grande influência na carga térmica do edifício. Por fim, são analisadas simulações para quatro diferentes climas do território nacional.

**Palavras-chave:** 1. Indicadores de Desempenho 2. Edifícios 3. Energia (eficiência)



## **Abstract**

*This report is intended to define and simulate a conditioned building that follows the ASHRAE 90.1 (2004) and ABNT NBR 16401-1 (2008) Standards. Afterwards an analysis of sensibility for performance indexes is done. The simulations were performed at Energy Plus 4.0, recognized as an important tool for energy consumption and profiles prediction of a sustainable building. The floor model was defined, concerning the building materials, the thermal zones' quantity and dimensions and the window-wall ratio. The author searched for the most used energy performance indexes available, and some of those were selected for a sensibility analysis regarding parameters that have great influence on the building's thermal load for four different climates.*

**Keywords:** 1. Performance Indices 2. Buildings 3. Energy (efficiency).

## Lista de Figuras

|                                                                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 3.1 – Modelo Tridimensional dos três andares típicos utilizados no modelo computacional. ....                                                           | 9  |
| Figura 3.2 – Zonas térmicas e brises de um pavimento do edifício.....                                                                                          | 10 |
| Figura 3.3 – Temperatura na zona térmica de face leste do andar térreo no edifício de referência. Simulação para o clima de São Paulo.....                     | 15 |
| Figura 4.1 – Consumo elétrico do edifício simulado por tipo de equipamento, em um ano, para o arquivo de clima de São Paulo, Congonhas .....                   | 18 |
| Figura 4.2 – Consumo Elétrico do edifício simulado ao longo de um ano, para o arquivo de clima de São Paulo, Congonhas (U.S. Department of Energy, 2009) ..... | 18 |
| Figura 4.3 – Perfil de Consumo Elétrico do Edifício Simulado, para o arquivo de clima de São Paulo, Congonhas (U.S. Department of Energy, 2009) .....          | 19 |
| Figura 5.1 – NPI em função do parâmetro de luminosidade .....                                                                                                  | 20 |
| Figura 5.2 – Consumo elétrico sobre a área do edifício em função do parâmetro de luminosidade .....                                                            | 20 |
| Figura 5.3 –NPI em função do COP do Resfriador .....                                                                                                           | 21 |
| Figura 5.4 – Consumo elétrico sobre a área em função do COP do Resfriador.....                                                                                 | 21 |
| Figura 5.5 –NPI em função da variação da potência utilizada por equipamentos elétricos.....                                                                    | 22 |
| Figura 5.6 – Consumo elétrico sobre área em função da potência utilizada por equipamentos elétricos .....                                                      | 22 |
| Figura 5.7 – NPI em função do parâmetro de ocupação.....                                                                                                       | 23 |
| Figura 5.8 – Consumo elétrico sobre área em função do parâmetro de ocupação ...                                                                                | 23 |

## Lista de Tabelas

|                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 2.1 – Matriz energética do Brasil em 2006 (quadrilhões de Btu) (Energy Information Administration, 2009).....                 | 3  |
| Tabela 2.2 – Tabela de indicadores de desempenho escalados para análise na revisão bibliográfica .....                               | 3  |
| Tabela 2.3 – Cálculo do NPI como mostrado na referência bibliográfica.....                                                           | 5  |
| Tabela 2.4 – Fator de Exposição (Canbay, 2003).....                                                                                  | 5  |
| Tabela 2.5 – Cálculo do NPI modificado para refrigeração.....                                                                        | 7  |
| Tabela 3.1 – Propriedades dos materiais utilizados no pavimento tipo, e propriedades das paredes falsas .....                        | 11 |
| Tabela 3.2 – Propriedades do vidro utilizado na janela do pavimento tipo ..                                                          | 11 |
| Tabela 3.3 – Materiais utilizados em cada elemento da geometria .....                                                                | 11 |
| Tabela 3.4 – Perfis Horários para Ocupação, Iluminação, Uso de Equipamentos Elétricos e Ventilação em edifícios de escritórios. .... | 13 |
| Tabela 6.1 – Sensibilidade dos Indicadores para os diversos arquivos de clima .....                                                  | 24 |
| Tabela 7.1 – Comparação das variações percentuais, entre NPI e Consumo/área, que ocorrem ao variarmos os parâmetros de simulação.... | 26 |
| Tabela 8.1 – Comparação de consumos elétricos entre diversos edifícios de escritórios encontrados na literatura .....                | 27 |

## Lista de Abreviaturas e Siglas

BEPAC – *Building Environmental Performance Assessment Criteria*

BRE – *Building Research Establishment*

BREEAM – *BRE Environmental Assessment Method* (1990)

COP – *Coefficient of Performance*

GBC – *Green Building Challenge*

HK-BEAM – *Hong Kong Building Environmental Assessment Method* (1996)

LEED – *Leadership in Energy and Environmental Design* (1996)

USGBC – *U.S. Green Building Council* – Conselho Americano de Edifícios Sustentáveis.

NAC – *Normalized Annual energy Consumption*

NPI – *Normalized Performance Index*

Procel EDIFICA – Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações

## Lista de Símbolos

\$ - Símbolo Monetário. Precedido por US, significa Dólar. Precedido por R, significa Real.

°C – Grau Celsius

€ – euro.

Btu – *British Thermal Unit*

G – giga,  $10^9$

J – Joule

k – kilo,  $10^3$

M – mega,  $10^6$

m<sup>2</sup> – Metro Quadrado

ton – Tonelada

TR – Tonelada de Refrigeração

W – Watt

Wh – Watt-hora

## Sumário

|                                                                |                                      |
|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>FICHA CATALOGRÁFICA.....</b>                                | <b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b> |
| <b>DEDICATÓRIA .....</b>                                       | <b>III</b>                           |
| <b>AGRADECIMENTOS .....</b>                                    | <b>IV</b>                            |
| <b>RESUMO .....</b>                                            | <b>VI</b>                            |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                          | <b>VII</b>                           |
| <b>LISTA DE FIGURAS .....</b>                                  | <b>VIII</b>                          |
| <b>LISTA DE TABELAS.....</b>                                   | <b>IX</b>                            |
| <b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....</b>                    | <b>X</b>                             |
| <b>LISTA DE SÍMBOLOS .....</b>                                 | <b>XI</b>                            |
| <b>SUMÁRIO .....</b>                                           | <b>XII</b>                           |
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>                                     | <b>1</b>                             |
| <b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>                          | <b>2</b>                             |
| 2.1. Métodos para avaliação de desempenho de edificações ..... | 2                                    |
| 2.2. Normas Técnicas.....                                      | 1                                    |
| 2.2.1. ASHRAE 90.1 (2004) .....                                | 1                                    |
| 2.2.2. ABNT NBR 16401-1 .....                                  | 2                                    |
| 2.3. Indicadores de Desempenho.....                            | 3                                    |
| 2.4. Indicadores Escolhidos.....                               | 4                                    |
| 2.4.1. Graus Dia .....                                         | 6                                    |
| 2.5. Metodologia para avaliação de indicadores.....            | 8                                    |
| <b>3. CARACTERIZAÇÃO DE UMA EDIFICAÇÃO DE REFERÊNCIA .....</b> | <b>9</b>                             |
| 3.1. Geometria .....                                           | 9                                    |
| 3.2. Materiais .....                                           | 11                                   |
| 3.3. Ocupação.....                                             | 12                                   |
| 3.4. Sistemas consumidores de energia .....                    | 14                                   |

|           |                                                       |           |
|-----------|-------------------------------------------------------|-----------|
| 3.4.1.    | Ar Condicionado .....                                 | 14        |
| 3.4.2.    | Termostato .....                                      | 14        |
| 3.4.3.    | Ventilação.....                                       | 15        |
| 3.4.4.    | Iluminação .....                                      | 16        |
| 3.4.5.    | Equipamentos elétricos internos à edificação .....    | 16        |
| 3.4.6.    | Elevadores .....                                      | 16        |
| <b>4.</b> | <b>AVALIAÇÃO DO PERFIL DE CONSUMO DE ENERGIA.....</b> | <b>17</b> |
| 4.1.      | Matriz energética .....                               | 17        |
| 4.2.      | Perfis de consumo elétrico .....                      | 18        |
| <b>5.</b> | <b>SIMULAÇÕES.....</b>                                | <b>19</b> |
| 5.1.      | Simulação Inicial .....                               | 19        |
| 5.1.1.    | Iluminação .....                                      | 20        |
| 5.1.2.    | COP do Resfriador .....                               | 21        |
| 5.1.3.    | Equipamentos Elétricos.....                           | 22        |
| 5.1.4.    | Ocupação do Edifício .....                            | 23        |
| <b>6.</b> | <b>RESULTADOS .....</b>                               | <b>24</b> |
| <b>7.</b> | <b>ANÁLISE DE SENSIBILIDADE .....</b>                 | <b>26</b> |
| <b>8.</b> | <b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>                | <b>27</b> |
| <b>9.</b> | <b>BIBLIOGRAFIA.....</b>                              | <b>30</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

Na década de 1970, devido à crise energética decorrente dos altos preços do petróleo internacional, grupos de ecologistas, ambientalistas, arquitetos e construtores começaram a desenvolver tecnologias para construções mais amigáveis ao meio ambiente, com o uso de fontes alternativas de energia.

Nos anos 80, surgiram os primeiros sistemas de avaliação de desempenho ambiental dos edifícios, sendo o sistema *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM) o primeiro e mais conhecido destes. Em seguida vieram outros sistemas, como o *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), que atualmente é o método mais utilizado no mercado. Ainda há o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações - Procel Edifica, sistema de avaliação brasileiro instituído pela ELETROBRÁS/PROCEL em 2003, que atua de forma conjunta com o Ministério de Minas e Energia.

Cada método utiliza uma série de critérios para averiguar e atestar se o edifício sob análise está ecologicamente correto, e gastando a menor quantidade de energia possível. Para isso, todos os métodos fazem uso de indicadores de desempenho energéticos.

No entanto, tais indicadores de desempenho são afetados por inúmeros fatores: temperatura externa, quantidade de radiação solar, velocidade do vento, coeficiente de desempenho (COP) do *resfriador*, entre outros.

O propósito deste trabalho é avaliar diversos indicadores de desempenho quanto à sensibilidade perante a variação de parâmetros relevantes, entre eles a iluminação dos ambientes, quantidade de equipamentos elétricos, quantidade de pessoas por metro quadrado e COP do *resfriador* do sistema de ar condicionado.



## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Métodos para avaliação de desempenho de edificações

Existem muitos métodos para a avaliação de desempenho de edificações no planeta. Atualmente praticamente cada país europeu, além de Estados Unidos, Canadá, Japão, Austrália e Hong Kong, possui seu próprio sistema de avaliação de edifícios.

No trabalho de (Silva, Silva e Agopyan, 2003), os autores citam os métodos mais utilizados, sendo que os métodos BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*), HK-BEAM (*Hong Kong Building Environmental Assessment Method*), LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) e CTSB ESCALE ( (NIBEL, CHATAGNON e ACHARD, 2000) apud (Silva, Silva e Agopyan, 2003)) têm estrutura mais simples e estão vinculados a algum tipo de certificação de desempenho, enquanto os métodos BEPAC (*Building Environmental Performance Assessment Criteria*) e seu sucessor, GBC (*Green Building Challenge*) estão mais voltados para pesquisa.

Ainda segundo Silva (2003), a ênfase do GBC é o desenvolvimento de uma metodologia abrangente e com fundamentação científica, que possa orientar o desenvolvimento de novos sistemas.

Cada um desses sistemas de avaliação de desempenho possui uma área dedicada à energia utilizada e sua redução. Para reduzir a energia de forma eficaz, é de interesse do projetista ou do responsável tornar o edifício existente mais ‘sustentável’ que se tenha à mão ferramentas simples de utilizar e que representem os fatores mais importantes em gasto energético. Assim, faz-se necessária uma avaliação dos indicadores de desempenho.

Como podemos observar na Tabela 2.1, a eletricidade é a segunda maior fonte de energia no Brasil, perdendo apenas para os combustíveis líquidos, que são amplamente utilizados em transportes em todo o mundo. Dentre toda a energia consumida pelos setores de uso final, a eletricidade

representa mais de 19%, e especificamente no setor comercial, ela representa praticamente todo o consumo energético. Portanto, para prédios comerciais e de escritório, os consultores de sustentabilidade em edifícios primam por reduzir o consumo de eletricidade local.

Tabela 2.1 – Matriz energética do Brasil em 2006 (quadrihões de Btu)  
(Energy Information Administration, 2009)

| <b>Setor / Combustível</b> | <b>2006</b> |
|----------------------------|-------------|
| <b>Residencial</b>         |             |
| <i>Líquidos</i>            | 0.3         |
| <i>Gas Natural</i>         | 0.0         |
| <i>Carvão</i>              | 0.0         |
| <i>Eletricidade</i>        | 0.3         |
| <i>Energia Renovável</i>   | 0.0         |
| <b>Total</b>               | 0.6         |
| <b>Comercial</b>           |             |
| <i>Líquidos</i>            | 0.0         |
| <i>Gas Natural</i>         | 0.0         |
| <i>Carvão</i>              | 0.0         |
| <i>Eletricidade</i>        | 0.3         |
| <i>Energia Renovável</i>   | 0.0         |
| <b>Total</b>               | 0.4         |
| <b>Industrial</b>          |             |
| <i>Líquidos</i>            | 1.7         |
| <i>Gas Natural</i>         | 0.4         |
| <i>Carvão</i>              | 0.4         |
| <i>Eletricidade</i>        | 0.6         |
| <i>Energia Renovável</i>   | 0.2         |
| <b>Total</b>               | 3.3         |
| <b>Transporte</b>          |             |
| <i>Líquidos</i>            | 2.4         |
| <i>Gas Natural</i>         | 0.1         |
| <i>Carvão</i>              | 0.0         |
| <i>Eletricidade</i>        | 0.0         |
| <i>Energia Renovável</i>   | 3.3         |
| <b>Total</b>               | 5.8         |

| <b>Setor / Combustível</b>                | <b>2006</b> |
|-------------------------------------------|-------------|
| <b>Usos finais de energia</b>             |             |
| <i>Líquidos</i>                           | 4.4         |
| <i>Gas Natural</i>                        | 0.5         |
| <i>Carvão</i>                             | 0.4         |
| <i>Eletricidade</i>                       | 1.3         |
| <i>Energia Renovável</i>                  | 0.2         |
| <b>Energia entregue</b>                   | 6.8         |
| <i>Perdas Relacionadas à Eletricidade</i> | 2.8         |
| <b>Total</b>                              | 9.6         |
| <b>Energia Elétrica</b>                   |             |
| <i>Líquidos</i>                           | 0.1         |
| <i>Gas Natural</i>                        | 0.2         |
| <i>Carvão</i>                             | 0.1         |
| <i>Eletricidade</i>                       | 0.1         |
| <i>Energia Renovável</i>                  | 3.4         |
| <b>Total</b>                              | 4.2         |
| <b>Consumo Total de Energia</b>           |             |
| <i>Líquidos</i>                           | 4.6         |
| <i>Gas Natural</i>                        | 0.7         |
| <i>Carvão</i>                             | 0.4         |
| <i>Eletricidade</i>                       | 0.1         |
| <i>Energia Renovável</i>                  | 3.6         |
| <b>Total</b>                              | 9.6         |

## 2.2. Normas Técnicas

### 2.2.1. ASHRAE 90.1 (2004)

A norma ASHRAE 90.1 tem como objetivo fornecer um conjunto de requisitos mínimos para projetos de eficiência energética de edifícios, excetuando edifícios baixos residenciais.

A norma 90.1 é dividida em 12 seções. O manual da norma 90.1 (Ashrae - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2004) as descreve, referenciando as seções 1, 2, 3, 4 e 12 como administrativas:

1. *Purpose*: esclarece o propósito da norma.
2. *Scope*: define o escopo da norma, onde ela pode ou não ser aplicada.
3. *Definitions, Abbreviations and Acronyms*: fornece definições dos termos utilizados na norma e uma lista de abreviações, acrônimos e símbolos.
4. *Administration and Enforcement*: fornece uma visão geral sobre os requisitos para cumprir a norma.
12. *Normative References*: lista as referências e citações utilizadas na norma.

As seções 5 a 11 são as seções técnicas da norma. As seções 5 a 10 contêm requisitos técnicos para componentes distintos do projeto do edifício, enquanto a seção 11 oferece uma alternativa de abordagem do edifício como um todo para satisfazer a norma:

5. *Building Envelope*: discute a envoltória do edifício incluindo janelas.
6. *Heating, Ventilating and Air Conditioning*: aborda o sistema de aquecimento, ventilação e ar condicionado, seus equipamentos e controles.

7. *Service Water Heating*: aborda o serviço de aquecimento de água, seus equipamentos e sistemas.
8. *Power*: abrange os sistemas de distribuição de energia do edifício.
9. *Lighting*: abrange o sistema de iluminação interna e externa do edifício, e seus controles.
10. *Other Equipments*: fala sobre motores elétricos existentes no edifício.
11. *Energy Cost Budget Method*: define os requisitos para o desenvolvimento de um modelo computacional para o método *Energy Cost Budget (ECB)*.

As seções 5 a 10 são divididas em requisitos mandatórios e requisitos prescritivos. Os requisitos mandatórios devem ser cumpridos sob toda e qualquer circunstância, enquanto os requisitos prescritivos devem ser cumpridos para demonstrar aquiescência à norma 90.1. Já a sessão 11 tem métodos alternativos para demonstrar aquiescência à norma.

Há também sete diferentes apêndices, sendo que os apêndices A a D são normativos e fazem parte da norma, enquanto os apêndices E e F são informativos. O apêndice G é um procedimento para o cálculo do consumo de energia básico de um edifício, de modo que se possam calcular porcentagens de economia no consumo energético sobre o consumo de energia básico.

O apêndice G orienta para elaboração e simulação de um modelo de edificação de referência e um modelo de edificação proposta, de forma a comparar as duas edificações estabelecendo uma relação entre os seus gastos de energia anual.

### **2.2.2. ABNT NBR 16401-1**

A norma brasileira ABNT NBR 16401-1 estabelece os parâmetros básicos e os requisitos mínimos para sistemas de ar-condicionado centrais e unitários. A norma se aplica a instalações de ar-condicionado especiais que

são regidas por normas específicas (salas limpas, laboratórios, centros cirúrgicos, processos industriais e outras) apenas nos dispositivos que não conflitem com a norma específica. (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008)

Essa norma define que os novos projetos de edifícios devem incluir cálculos preliminares de cargas térmicas e vazão de ar, além da definição preliminar de equipamentos, localização da casa de máquinas, estrutura do edifício, entre outros.

Para o cálculo de carga térmica, a norma disponibiliza diversas tabelas de fontes internas de calor e umidade. Tais tabelas serão utilizadas neste trabalho para a definição do edifício de referência e posterior cálculo dos índices de desempenho energéticos.

### 2.3. Indicadores de Desempenho

Para a realização deste trabalho, foi feita uma ampla pesquisa entre os artigos e teses disponíveis sobre consumo energético e redução, além de artigos sobre indicadores de desempenho de prédios.

Os indicadores podem ser diretamente relacionados à energia, como o indicador kWh/m<sup>2</sup>.ano, ou podem demonstrar o uso energético de forma indireta, como o indicador \$/kWh, que indica a quantidade de valor monetário para representar o gasto de energia.

**Tabela 2.2 – Tabela de indicadores de desempenho escalados para análise na revisão bibliográfica**

| Indicador                                               | Citado em                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>GJ ou J ou GJ no ano ou kWh ou MWh ou GWh ou TWh</b> | (Deng e Burnett, 2000), (Sailor, 2008), (Stepanov, Starikova e Stepanova, 2000), (Chan e Yeung, 2005), (Jaggs e Palmer, 2000), (Neto e Fiorelli, 2008), (Yannas, 1996), (Karashima, 2006), (Gómez e Lamberts, 1995), (Kofoworola e Gheewala, 2009), (Beraldo, 2006), (Westphal, Ghisi e Lamberts, 1998), (McNeil e Letschert, 2008) |
| <b>GJ/pessoa</b>                                        | (Stepanov, Starikova e Stepanova, 2000)                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>kW</b>                                               | (Karashima, 2006), (Gómez e Lamberts, 1995), (Lee,                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

**Tabela 2.2 – Tabela de indicadores de desempenho escalados para análise na revisão bibliográfica**

| <b>Indicador</b>                                                                                                   | <b>Citado em</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                    | Westphal e Lamberts, 2001), (Zhao, Zhu e Wu, 2009)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>kW/m<sup>2</sup> ou W/m<sup>2</sup> ou kWh/m<sup>2</sup> ou Wh/m<sup>2</sup> ou MJ/m<sup>2</sup> ou kWh/ano</b> | (Gómez e Lamberts, 1995), (Hamdi, Lachiver e Michaud, 1999), (Henze, <i>et al.</i> , 2008), (Kalz, Herkel e Wagner, 2009), (Westphal, Ghisi e Lamberts, 1998), (Canbay, Hepbasli e Gokcen, 2004), (Kofoworola e Gheewala, 2009), (Zhao, Zhu e Wu, 2009), (Yannas, 1996), (Deng e Burnett, 2000), (Lee, Westphal e Lamberts, 2001)                                                                                                                                      |
| <b>kWh/m<sup>2</sup>.ano ou MJ/m<sup>2</sup>.<i>annum</i></b>                                                      | (Canbay, Hepbasli e Gokcen, 2004), (Gómez e Lamberts, 1995), (Kofoworola e Gheewala, 2009), (Beraldo, 2006), (Henze, <i>et al.</i> , 2008), (Kalz, Herkel e Wagner, 2009), (Olofsson, Andersson e Sjögren, 2009), (Pérez-Lombard, Ortiz e Pout, 2008), (Signor, 1999), (Westphal, Ghisi e Lamberts, 1998), (Zhao, Zhu e Wu, 2009), (Zhou e Lin, 2008), (Zmeureanu, 1992), (Horne, <i>et al.</i> , 2005), (Cai, <i>et al.</i> , 2009), (ARGIRIOU, <i>et al.</i> , 1994) |
| <b>NAC (<i>Normalized annual energy consumption</i>)</b>                                                           | (Zmeureanu, 1992)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b><i>Normalized Performance Index</i></b>                                                                         | (Canbay, Hepbasli e Gokcen, 2004)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

## 2.4. Indicadores Escolhidos

Dentre os indicadores apresentados no item 2.3, os que apresentaram algum tipo de normalização são o NAC (Zmeureanu, 1992) e o NPI (Canbay, Hepbasli e Gokcen, 2004).

O NAC foi descartado para utilização no presente trabalho, pois alguns detalhes no método de cálculo, como o cálculo do consumo energético de referência, não estão claramente definidos, gerando alguns resultados absurdos, como uma temperatura de referência de -99°C. A ausência de clareza impossibilitou a utilização do índice.

O NPI é um método de normalização do consumo energético adotado pelo Escritório de Eficiência Energética do Departamento de Meio Ambiente do Reino Unido (*Energy Efficiency Office, Department of the Environment, UK*) que normaliza o consumo energético por área de um edifício pelas suas

condições de exposição e pelo clima da região. Seu cálculo é apresentado na Tabela 2.3.

**Tabela 2.3 – Cálculo do NPI como mostrado na referência bibliográfica**

| <b>Parâmetro</b>                                                         | <b>Cálculo</b>  |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <i>Consumo Energético Total (kWh)</i>                                    | A               |
| <i>Energia para aquecimento do ambiente (kWh)</i>                        | B               |
| <i>Outros gastos energéticos (kWh)</i>                                   | $C = A - B$     |
| <i>Encontrar os Graus-Dia para o ano simulado</i>                        | D               |
| <i>Fator de Correção do Clima</i>                                        | $E = 2462/D$    |
| <i>Fator de Exposição para o uso de energia para aquecimento</i>         | F               |
| <i>Uso anual de energia para aquecimento para condições padrão (kWh)</i> | $G = B * E * F$ |
| <i>Uso de energia normalizado (kWh)</i>                                  | $H = C + G$     |
| <i>Área dos andares (m<sup>2</sup>)</i>                                  | J               |
| <i>Encontrar os Índices Normalizados de Desempenho</i>                   | $K = H / J$     |

O cálculo deste índice é baseado no nível de exposição que um prédio possui e no número de Graus-Dia que há no ano em relação a um número típico de graus-dia na região. O fator de exposição pode ser obtido na Tabela 2.4, encontrada em (Canbay, 2003).

**Tabela 2.4 – Fator de Exposição (Canbay, 2003)**

| <b>Condição</b>                                                                                                                                                      | <b>Fator de Exposição</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| <i>Abrigado: O edifício está em uma área construída rodeado por edifícios de altura similar ou maior. Esta configuração se aplica à maioria dos centros urbanos.</i> | 1,1                       |
| <i>Normal: O edifício tem poucos vizinhos, em área urbana ou rural. Pode haver a existência de árvores ou prédios adjacentes.</i>                                    | 1,0                       |
| <i>Exposto: Locais na costa litorânea ou em Colinas, com pouco ou nenhum obstáculo próximo.</i>                                                                      | 0,9                       |

Já o cálculo do fator de correção do clima é mais complexo. É uma divisão entre o número de graus-dia típico da região pelo número de graus-dia contabilizado no ano. Uma explicação mais detalhada será fornecida no próximo item.

#### **2.4.1. Graus Dia**

O conceito de graus-dia foi desenvolvido para tentar buscar uma representação simples de qual seria a demanda de energia requerida para aquecimento ou resfriamento, assegurando níveis habitáveis de conforto (Goulart, Lamberts e Firmino, 1998). Graus dia é um parâmetro climático que pode ser definido como o somatório da diferença de temperatura, quando esta se encontra abaixo (ou acima, no caso de graus dia de refrigeração) de uma temperatura base ( $T_b$ ), definida pelo projetista. Ou seja, quando a temperatura média diária for menor que  $T_b$ , calcula-se a diferença ( $T_b - T_{\text{méd}}$ ), somando-se essas diferenças, dia a dia, para todo o ano.

O índice NPI utiliza este conceito. O fator de correção climático utilizado por Canbay nada mais é que o número de graus dia de aquecimento típico para uma temperatura base de  $15,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  para o Reino Unido (2462) sobre o número de graus dia para aquecimento do ano em que o edifício foi avaliado em seu trabalho.

O artigo “Degree Days – Handle With Care!” fornecido pela empresa *Business Energy Efficiency Software* em seu site (BizEE Software Ltd., 2009) indica que a temperatura base deve ser escolhida individualmente para cada edifício, e que usualmente é escolhida com base no ganho de calor médio típico ( $3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), acima ou abaixo da temperatura a qual se deve manter o ar no interior do edifício.

Para a utilização deste índice de desempenho, são propostas duas modificações:



- O edifício referência deste trabalho utiliza muita energia em refrigeração. Portanto, deve ser aplicado um fator de correção climático ao consumo energético de refrigeração.
- Segundo (Goulart, Lamberts e Firmino, 1998), alguns dos climas escolhidos para o estudo proposto não possuem graus-dia, ou os possuem em quantidade irrelevante. Então, consideraremos típica a quantidade de graus-dia média dos últimos 36 meses de cada localidade, disponível no site [www.degreedays.net](http://www.degreedays.net) (BizEE Software Ltd., 2009)

Com estas duas modificações, o cálculo do índice NPI proposto será feito de acordo com a Tabela 2.5.

**Tabela 2.5 – Cálculo do NPI modificado para refrigeração**

| <b>Parâmetro</b>                                                                                                                                                       | <b>Cálculo</b>   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Consumo de Energia Total (kWh)                                                                                                                                         | A                |
| Energia de Aquecimento (kWh)                                                                                                                                           | B                |
| Energia de Refrigeração (kWh)                                                                                                                                          | B2               |
| Energia que não é usada em aquecimento ou Refrigeração (kWh)                                                                                                           | $C = A - B - B2$ |
| Número de Graus Dia para os dados de energia do ano simulado                                                                                                           | D                |
| Número de graus dia típico (baseado nos últimos 36 meses disponíveis pelo site <a href="http://www.degreedays.net">www.degreedays.net</a> (BizEE Software Ltd., 2009)) | T                |
| Fator de Correção Climático                                                                                                                                            | $E = T / D$      |
| Fator de Exposição do Edifício                                                                                                                                         | F                |
| Uso anual de energia de aquecimento para condições padrão (kWh)                                                                                                        | $G = B * E * F$  |
| Uso anual de energia de refrigeração para condições padrão (kWh)                                                                                                       | $I = B2 * E * F$ |
| Uso Normalizado de Energia (kWh)                                                                                                                                       | $H = C + G + I$  |
| Área dos andares (m <sup>2</sup> )                                                                                                                                     | J                |

**Tabela 2.5 – Cálculo do NPI modificado para refrigeração**

| <b>Parâmetro</b>                                              | <b>Cálculo</b> |
|---------------------------------------------------------------|----------------|
| Índice de Performance Normalizado (NPI) (kWh/m <sup>2</sup> ) | $K = H / J$    |

### **2.5. Metodologia para avaliação de indicadores**

O presente trabalho propõe criar um edifício de referência, e a partir deste criar oito modelos de edifícios propostos, cada qual com uma modificação distinta em um dos quatro principais parâmetros que afetam significativamente o consumo energético anual da edificação.

Em seguida, os modelos serão simulados para quatro climas de localidades brasileiras distintas, sendo elas: Belém, Brasília, Rio de Janeiro e São Paulo.

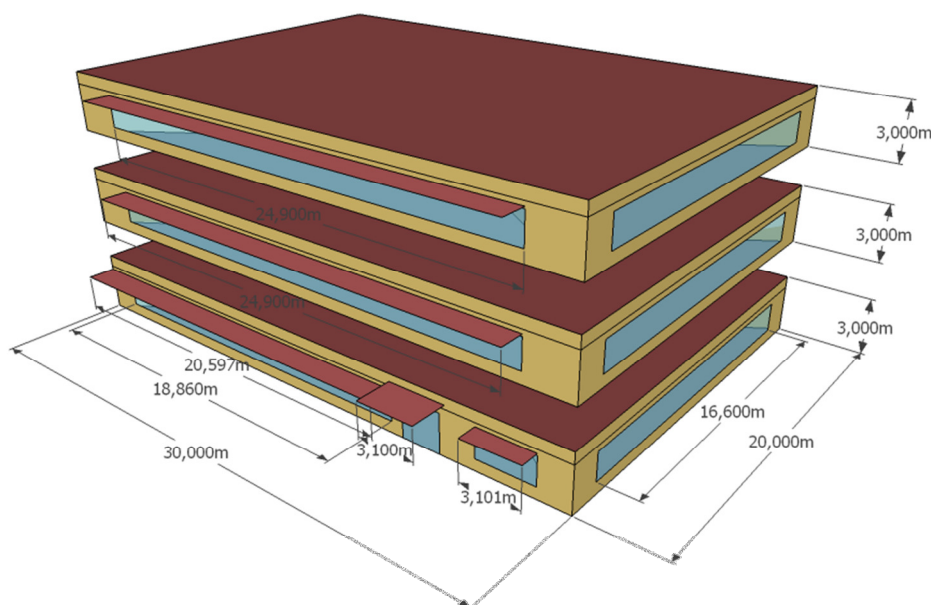
Por fim, será analisada a sensibilidade do NPI, perante a variação dos seguintes parâmetros:

- Potência utilizada para equipamentos elétricos por metro quadrado;
- Potência utilizada para iluminação por metro quadrado;
- Potência liberada pelas pessoas no ambiente por metro quadrado;
- COP do Resfriador (refrigerador).

### 3. CARACTERIZAÇÃO DE UMA EDIFICAÇÃO DE REFERÊNCIA

#### 3.1. Geometria

A geometria inicial do edifício referência foi baseada em um modelo de escritório simples, de formato retangular e zonas térmicas representadas pelas áreas próximas às janelas e pela área mais distante da janela.



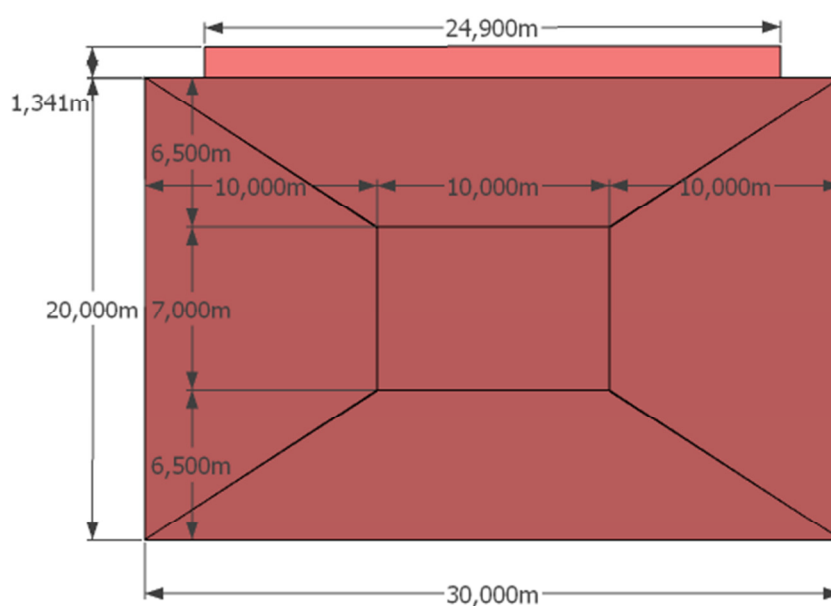
**Figura 3.1 – Modelo Tridimensional dos três andares típicos utilizados no modelo computacional.**

O prédio simulado possuirá 25 andares, sendo modelado por três diferentes tipos de pavimento, o térreo, a cobertura e o pavimento intermediário. O pavimento intermediário será multiplicado por 23, para completar os 25 andares propostos.

Cada andar possui cinco zonas térmicas, conforme ilustrado na Figura 3.2. Essas zonas térmicas são delimitadas pelas paredes externas do andar, chão, forro e por paredes falsas. A zona térmica central não é climatizada, pois é usualmente utilizada para instalação de elevadores e *hall* de entrada. Essas paredes falsas tiveram suas propriedades ajustadas para permitirem a transferência quase total de carga térmica entre seus dois lados, causando o

mínimo de interferência na simulação. Suas propriedades estão descritas na Tabela 3.1.

Ainda existe uma sexta zona térmica que foi modelada para cada andar, o *plenum* ou entreforro, que é o espaço entre o forro de um andar e o teto deste andar, onde acontece a circulação de ar para o *sistema de ar condicionado* e eventualmente é onde passam os cabos de redes de computadores e eletricidade. O *plenum* não é climatizado.



**Figura 3.2 – Zonas térmicas e brises de um pavimento do edifício**

### 3.2. Materiais

Os materiais utilizados para a simulação dos forros, janelas, portas e chão são os mesmos utilizados na construção da maioria dos prédios de escritório do Brasil, e estão descritos na Tabela 3.1, e Tabela 3.2:

**Tabela 3.1 – Propriedades dos materiais utilizados no pavimento tipo, e propriedades das paredes falsas**

| Material          | Condutividade Térmica (W/m.K) | Densidade (kg/m³) | Calor Específico (J/kg.K) | Espessura (m) |
|-------------------|-------------------------------|-------------------|---------------------------|---------------|
| Argamassa         | 0,65                          | 1600              | 754                       | 0,02          |
| Bloco de Concreto | 0,91                          | 1700              | 1005                      | 0,19          |
| Concreto do Teto  | 1,28                          | 2000              | 754                       | 0,025         |
| Concreto do Piso  | 0,15                          | 1300              | 910                       | 0,3           |
| Isopor            | 0,04                          | 30                | 1000                      | 0,1225        |
| Gesso             | 0,35                          | 1200              | 910                       | 0,015         |
| Parede Falsa      | 1000                          | 100               | 100                       | 0,001         |

**Tabela 3.2 – Propriedades do vidro utilizado na janela do pavimento tipo**

| Material | Condutividade Térmica (W/m.K) | Transmitância Visível | Transmitância Solar | Espessura (mm) |
|----------|-------------------------------|-----------------------|---------------------|----------------|
| Vidro    | 0,9                           | 0,881                 | 0,775               | 3 ou 6         |

A disposição de materiais utilizados nas paredes, telhado, forro, piso e janelas está relatada na Tabela 3.3:

**Tabela 3.3 – Materiais utilizados em cada elemento da geometria**

| Paredes Externas  | Teto             | Piso             | Forro | Porta de Vidro      | Janela                            |
|-------------------|------------------|------------------|-------|---------------------|-----------------------------------|
| Argamassa         | Concreto do Teto | Concreto do Piso | Gesso | Uma camada de vidro | Duas camadas de vidro e uma de ar |
| Bloco de Concreto | Camada de Ar     |                  |       |                     |                                   |
| Argamassa         | Isopor           |                  |       |                     |                                   |

A razão entre a área envidraçada e a área de fachada (WWR – *window-wall ratio*) é 41,5%, abaixo do limite da norma ASHRAE 90.1 de 2004, que estabelece que a WWR deva ser igual ou menor que 50%.

### **3.3. Ocupação**

A ocupação utilizada foi baseada nos exemplos do *Energy Plus* 4.0, e é escrita em termos da fração do número máximo de pessoas que ocupam o ambiente. No caso, o método para o cálculo deste valor é a definição da área utilizada por cada ocupante, que segundo a norma ABNT NBR 16401-1 é de 11,6 m<sup>2</sup>/pessoa para cada posto de trabalho com computador, monitor, impressora e fax.

Há também que se definir as características de ganho em carga térmica para cada ocupante, e novamente segundo a norma ABNT NBR 16401-1, o valor mais compatível com o tipo de atividades que ocorrem em um edifício de escritórios é 115 W/pessoa, para um trabalho leve, sentado, e com o valor ajustado para uma porcentagem normal de homens, mulheres e crianças para esta aplicação, postulando-se que o calor liberado por uma mulher adulta é aproximadamente 85% daquele liberado por um homem adulto, e o calor liberado por uma criança é aproximadamente 75% daquele liberado por um homem adulto.

O perfil de ocupação em função das horas do dia está relatado na Tabela 3.4. Todos os perfis foram retirados do manual da norma 90.1 (Ashrae - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2004).

**Tabela 3.4 – Perfis Horários para Ocupação, Iluminação, Uso de Equipamentos Elétricos e Ventilação em edifícios de escritórios.**

| Horário | Fração do número máximo de pessoas |      |      | Fração da potência máxima de iluminação |      |      | Fração da potência máxima de equipamentos |      |      | Perfil de funcionamento do HVAC |         |         | Fração da potência máxima de elevadores |      |     |
|---------|------------------------------------|------|------|-----------------------------------------|------|------|-------------------------------------------|------|------|---------------------------------|---------|---------|-----------------------------------------|------|-----|
| Dias    | 2ª- 6ª                             | Sáb  | Dom  | 2ª- 6ª                                  | Sáb  | Dom  | 2ª- 6ª                                    | Sáb  | Dom  | 2ª- 6ª                          | Sáb     | Dom     | 2ª- 6ª                                  | Sáb  | Dom |
| 0h-5h   | 0                                  | 0    | 0    | 0,05                                    | 0,05 | 0,05 | 0,05                                      | 0,05 | 0,05 | Deslig.                         | Deslig. | Deslig. | 0                                       | 0    | 0   |
| 5h-6h   | 0                                  | 0    | 0    | 0,1                                     | 0,05 | 0,05 | 0,1                                       | 0,05 | 0,05 | Deslig.                         | Deslig. | Deslig. | 0                                       | 0    | 0   |
| 6h-7h   | 0,1                                | 0,1  | 0,05 | 0,1                                     | 0,1  | 0,05 | 0,1                                       | 0,1  | 0,05 | Ligado                          | Ligado  | Deslig. | 0                                       | 0    | 0   |
| 7h-8h   | 0,2                                | 0,1  | 0,05 | 0,3                                     | 0,1  | 0,05 | 0,3                                       | 0,1  | 0,05 | Ligado                          | Ligado  | Deslig. | 0,35                                    | 0,16 | 0   |
| 8h-9h   | 0,95                               | 0,3  | 0,05 | 0,9                                     | 0,3  | 0,05 | 0,9                                       | 0,3  | 0,05 | Ligado                          | Ligado  | Deslig. | 0,69                                    | 0,14 | 0   |
| 9h-10h  | 0,95                               | 0,3  | 0,05 | 0,9                                     | 0,3  | 0,05 | 0,9                                       | 0,3  | 0,05 | Ligado                          | Ligado  | Deslig. | 0,43                                    | 0,21 | 0   |
| 10h-11h | 0,95                               | 0,3  | 0,05 | 0,9                                     | 0,3  | 0,05 | 0,9                                       | 0,3  | 0,05 | Ligado                          | Ligado  | Deslig. | 0,37                                    | 0,18 | 0   |
| 11h-12h | 0,95                               | 0,3  | 0,05 | 0,9                                     | 0,3  | 0,05 | 0,9                                       | 0,3  | 0,05 | Ligado                          | Ligado  | Deslig. | 0,43                                    | 0,25 | 0   |
| 12h-13h | 0,5                                | 0,1  | 0,05 | 0,8                                     | 0,15 | 0,05 | 0,8                                       | 0,15 | 0,05 | Ligado                          | Ligado  | Deslig. | 0,58                                    | 0,21 | 0   |
| 13h-14h | 0,95                               | 0,1  | 0,05 | 0,9                                     | 0,15 | 0,05 | 0,9                                       | 0,15 | 0,05 | Ligado                          | Ligado  | Deslig. | 0,48                                    | 0,13 | 0   |
| 14h-15h | 0,95                               | 0,1  | 0,05 | 0,9                                     | 0,15 | 0,05 | 0,9                                       | 0,15 | 0,05 | Ligado                          | Ligado  | Deslig. | 0,37                                    | 0,08 | 0   |
| 15h-16h | 0,95                               | 0,1  | 0,05 | 0,9                                     | 0,15 | 0,05 | 0,9                                       | 0,15 | 0,05 | Ligado                          | Ligado  | Deslig. | 0,37                                    | 0,04 | 0   |
| 16h-17h | 0,95                               | 0,1  | 0,05 | 0,9                                     | 0,15 | 0,05 | 0,9                                       | 0,15 | 0,05 | Ligado                          | Ligado  | Deslig. | 0,46                                    | 0,05 | 0   |
| 17h-18h | 0,30                               | 0,05 | 0,05 | 0,5                                     | 0,05 | 0,05 | 0,5                                       | 0,05 | 0,05 | Ligado                          | Ligado  | Deslig. | 0,62                                    | 0,06 | 0   |
| 18h-19h | 0,1                                | 0,05 | 0    | 0,3                                     | 0,05 | 0,05 | 0,3                                       | 0,05 | 0,05 | Ligado                          | Deslig. | Deslig. | 0,2                                     | 0    | 0   |
| 19h-20h | 0,1                                | 0    | 0    | 0,3                                     | 0,05 | 0,05 | 0,3                                       | 0,05 | 0,05 | Ligado                          | Deslig. | Deslig. | 0,12                                    | 0    | 0   |
| 20h-21h | 0,1                                | 0    | 0    | 0,2                                     | 0,05 | 0,05 | 0,1                                       | 0,05 | 0,05 | Ligado                          | Deslig. | Deslig. | 0,04                                    | 0    | 0   |
| 21h-22h | 0,1                                | 0    | 0    | 0,2                                     | 0,05 | 0,05 | 0,1                                       | 0,05 | 0,05 | Ligado                          | Deslig. | Deslig. | 0,04                                    | 0    | 0   |
| 22h-23h | 0,05                               | 0    | 0    | 0,1                                     | 0,05 | 0,05 | 0,1                                       | 0,05 | 0,05 | Deslig.                         | Deslig. | Deslig. | 0                                       | 0    | 0   |
| 23h-24h | 0,05                               | 0    | 0    | 0,05                                    | 0,05 | 0,05 | 0,05                                      | 0,05 | 0,05 | Deslig.                         | Deslig. | Deslig. | 0                                       | 0    | 0   |

### 3.4. Sistemas consumidores de energia

Os sistemas consumidores de energia dentro de um edifício influenciam direta ou indiretamente a carga térmica de cada zona térmica presente no edifício. Devem ser levados em consideração e simulados da forma mais fidedigna possível.

Em um edifício de escritórios, os principais sistemas que influenciam nas cargas térmicas são condicionamento de ar e ventilação, iluminação e equipamentos elétricos utilizados (no caso, computadores e elevadores). Seus cronogramas de funcionamento estão descritos na Tabela 3.4.

#### 3.4.1. Ar Condicionado

O programa *Energy Plus* é capaz de simular diversos cenários de sistemas de ar condicionado. O sistema escolhido para o modelo computacional deste trabalho é baseado em um sistema de refrigeração e aquecimento com dutos de ventilação, caldeiras e *resfriadores*. Para este sistema, o *software* necessita que sejam especificados os controles de termostato, as propriedades dos dutos de ventilação, as propriedades dos ciclos de água gelada e água quente, as propriedades do *resfriadores*, as propriedades da torre de refrigeração, os cronogramas de funcionamento do sistema e o período que o sistema será simulado (ano, datas específicas ou dia de projeto). Mesmo que não exista a necessidade de aquecimento no edifício, os objetos relativos à caldeira e ao circuito de água quente devem ser inseridos, de forma a evitar erros numéricos e de convergência no *software*.

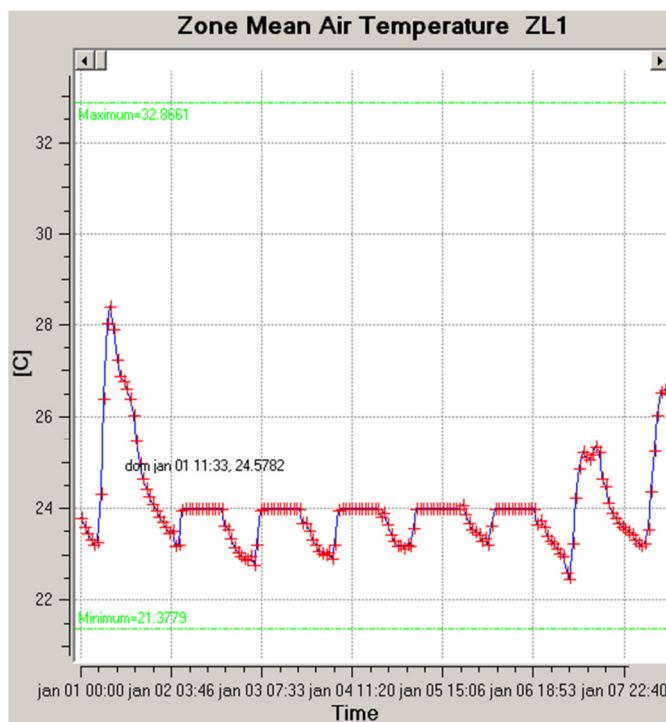
#### 3.4.2. Termostato

No programa *Energy Plus*, o termostato é simulado a partir de dois perfis de temperaturas distintos: o *Heating Setpoint Schedule* e o *Cooling Setpoint Schedule*.



Quando a temperatura interna de uma zona atinge um valor igual ou menor ao definido no *Heating Setpoint Schedule* para aquele horário, o programa ativa o sistema HVAC de forma a aquecer a zona térmica. Por sua vez, se a temperatura atinge um valor igual ou maior ao definido no *Cooling Setpoint Schedule*, o sistema HVAC será ativado de forma a resfriar a zona térmica.

A Figura 3.3 mostra que nos horários de 7 a 21 horas, de segunda a sexta feira, o sistema mantém a temperatura interna da zona térmica em 24<sup>o</sup> C.



**Figura 3.3 – Temperatura na zona térmica de face leste do andar térreo no edifício de referência. Simulação para o clima de São Paulo.**

### 3.4.3. Ventilação

O programa simula uma unidade de ventilação com quatro canos, um com água quente, outro com água fria e um misturador de ar. Os canos são abastecidos diretamente pelos ciclos de água quente e água fria.

Deve ser definido um objeto desta categoria para cada zona térmica que terá condicionamento de ar.

#### **3.4.4. Iluminação**

O perfil de iluminação utilizado é escrito em termos da fração da potência de iluminação máxima em um ambiente. No caso, o método para o cálculo deste valor é a definição da quantidade de *Watts* por área, que segundo a norma ABNT NBR 16401-1 é de 16 W/m<sup>2</sup>, para escritórios e bancos. O perfil de iluminação em função das horas do dia está relatado na Tabela 3.4.

#### **3.4.5. Equipamentos elétricos internos à edificação**

O perfil de equipamentos elétricos utilizado é escrito em termos da fração da potência elétrica máxima em um ambiente (excetuando a potência destinada à iluminação e condicionamento de ar). No caso, o método para o cálculo deste valor é a definição da quantidade de *Watts* por área, que segundo a norma ABNT NBR 16401-1 é de 10,7 W/m<sup>2</sup>, segundo o espaço ocupado de 11,6 m<sup>2</sup>/pessoa, com um computador, monitor, fax e impressora. O perfil de uso dos equipamentos em função das horas do dia está relatado na Tabela 3.4.

#### **3.4.6. Elevadores**

O perfil de elevadores utilizado é escrito em termos da fração da potência elétrica máxima utilizável pelos elevadores por metro quadrado do edifício.

Segundo a norma NBR 5665, para atender um edifício comercial de 600 m<sup>2</sup> de planta baixa e 25 andares, é necessário utilizar a relação de 7m<sup>2</sup> por pessoa para calcular a demanda populacional, e então calcular a capacidade de atendimento dessa demanda a partir do número de elevadores, sua velocidade, capacidade de carga, percurso e número de paradas. O site da empresa de elevadores *ThyssenKrupp* fornece uma

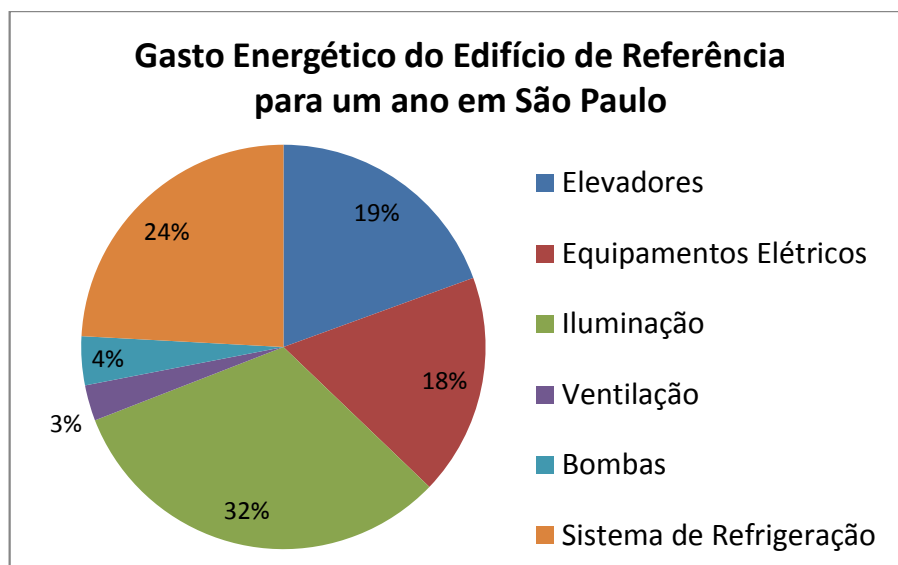
ferramenta baseada nesta norma, o “calculador de tráfego” (ThyssenKrupp, 2009). Com esta ferramenta, foi averiguado que para o edifício referência, utilizando dados de elevadores da ThyssenKrupp, linha Amazon, que atingem uma velocidade de 0,9 m/s e têm capacidade para 14 pessoas, são necessários dez elevadores, sendo que cinco abrangem os 13 primeiros andares e cinco abrangem os 12 últimos.

Esses elevadores são posicionados nas zonas térmicas centrais de cada andar, e consomem em conjunto 19,9 W/m<sup>2</sup> de área do edifício.

#### **4. AVALIAÇÃO DO PERFIL DE CONSUMO DE ENERGIA**

##### **4.1. Matriz energética**

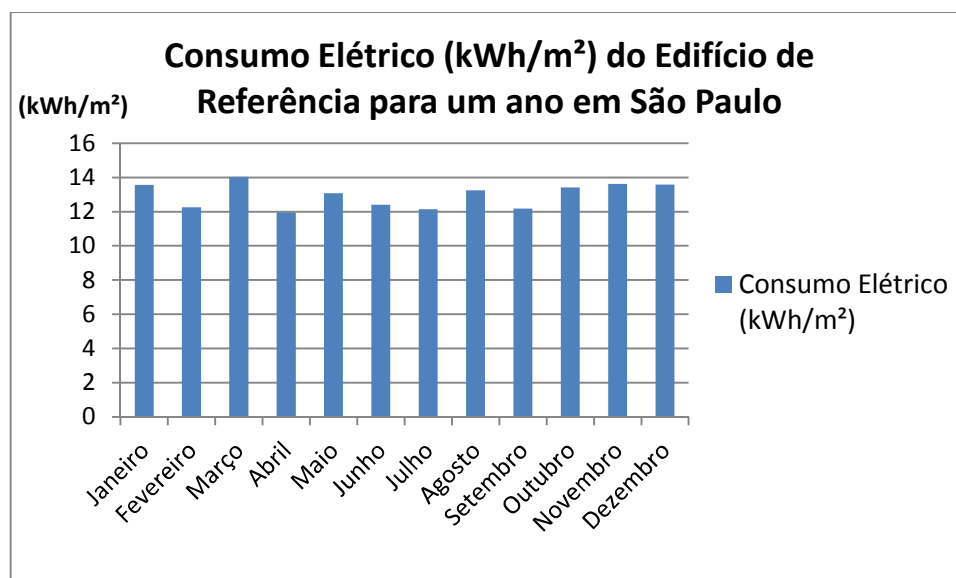
A matriz energética do edifício simulado pode ser verificada na Figura 4.1. Podemos observar que os valores condizem com a matriz energética de um edifício de escritórios, pois, segundo (Lamberts, Dutra e Pereira, 1997), um edifício de escritórios possui, em média, um consumo elétrico relativo à iluminação de 24%, um consumo elétrico relativo aos equipamentos de escritório de 15%, um consumo relativo ao uso de elevadores de 13% e um consumo elétrico relativo ao condicionamento de ar de 48%.



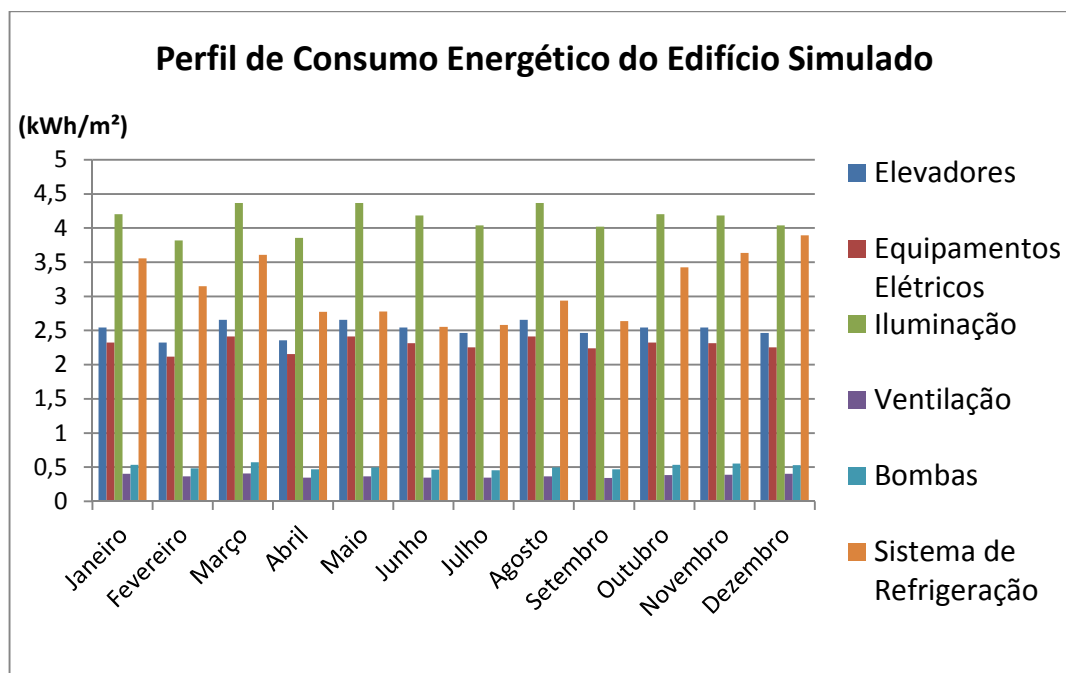
**Figura 4.1 – Consumo elétrico do edifício simulado por tipo de equipamento, em um ano, para o arquivo de clima de São Paulo, Congonhas**

#### 4.2. Perfis de consumo elétrico

O consumo elétrico e o perfil de consumo elétrico anuais do edifício simulado podem ser observados respectivamente na Figura 4.2 e Figura 4.3.



**Figura 4.2 – Consumo Elétrico do edifício simulado ao longo de um ano, para o arquivo de clima de São Paulo, Congonhas (U.S. Department of Energy, 2009)**



**Figura 4.3 – Perfil de Consumo Elétrico do Edifício Simulado, para o arquivo de clima de São Paulo, Congonhas (U.S. Department of Energy, 2009)**

## 5. SIMULAÇÕES

### 5.1. Simulação Inicial

O *Energy Plus* é um software de simulação que realiza análises energéticas e cálculos de carga térmica. Baseado em uma descrição de um edifício feita pelo usuário, sob perspectiva das suas características físicas, sistemas mecânicos associados, entre outros, o programa calculará cargas de refrigeração e aquecimento, necessárias para manter controle térmico do ambiente, condições através de um sistema de ar condicionado secundário e cargas nas serpentinas, e consumo energético de equipamentos da planta primária assim como muitos outros detalhes da simulação que são necessários para averiguar que o edifício simulado está se comportando como um edifício real se comportaria.

Para realizar a análise qualitativa dos indicadores escolhidos, foram realizadas simulações de um ano de funcionamento para os climas de Belém, Brasília, São Paulo e Rio de Janeiro, e em seguida foram variados os diversos parâmetros descritos no item 2.4. Os resultados obtidos serão mostrados a seguir.

### 5.1.1. Iluminação

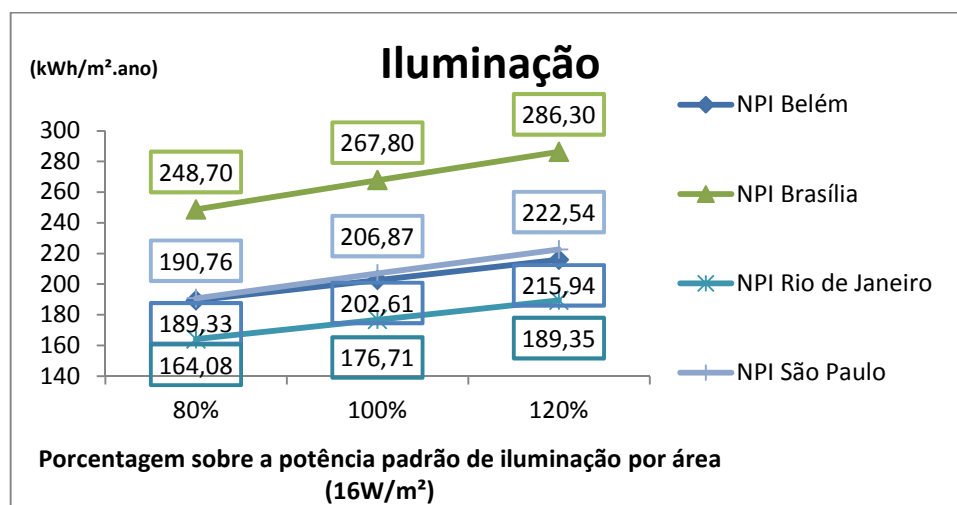


Figura 5.1 – NPI em função do parâmetro de luminosidade

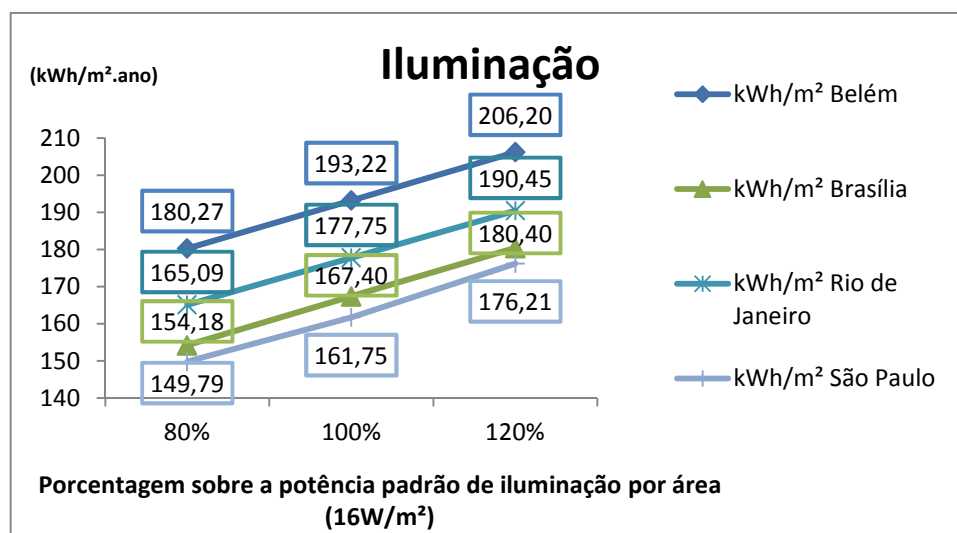


Figura 5.2 – Consumo elétrico sobre a área do edifício em função do parâmetro de luminosidade

### 5.1.2. COP do Resfriador

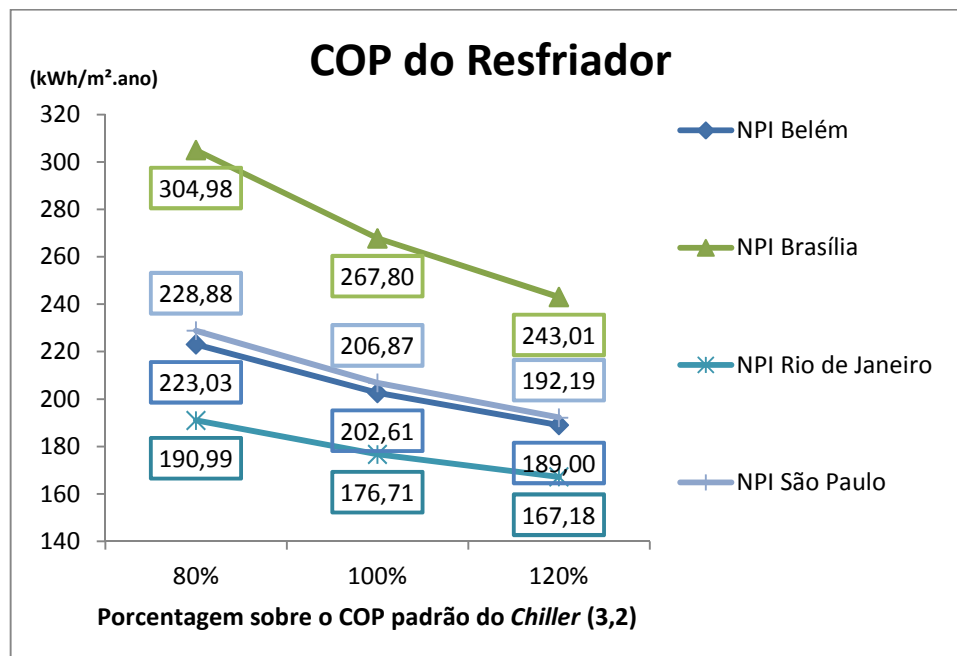


Figura 5.3 –NPI em função do COP do Resfriador

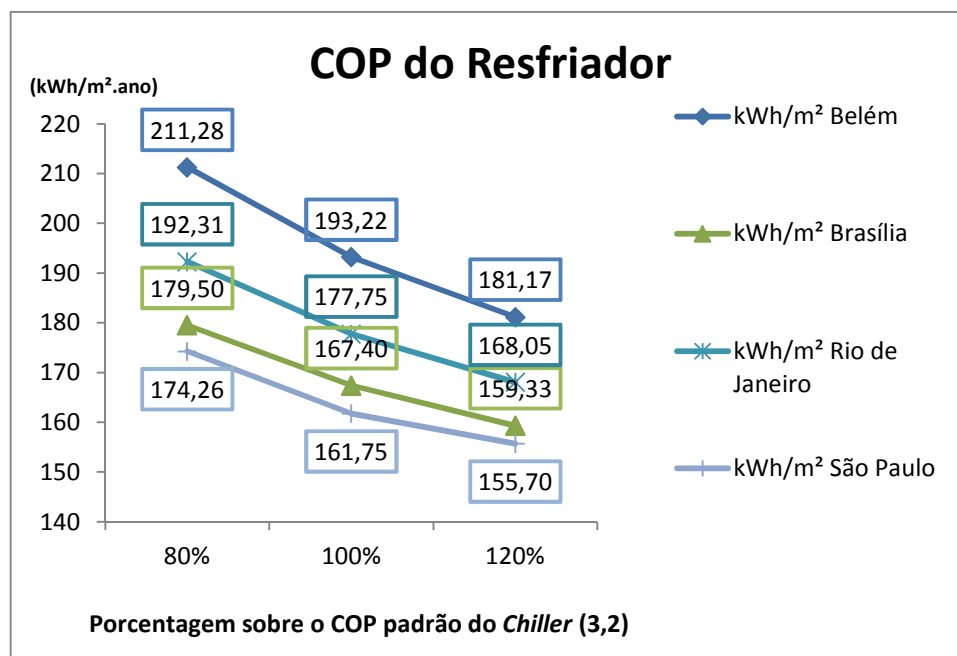


Figura 5.4 – Consumo elétrico sobre a área em função do COP do Resfriador

### 5.1.3. Equipamentos Elétricos

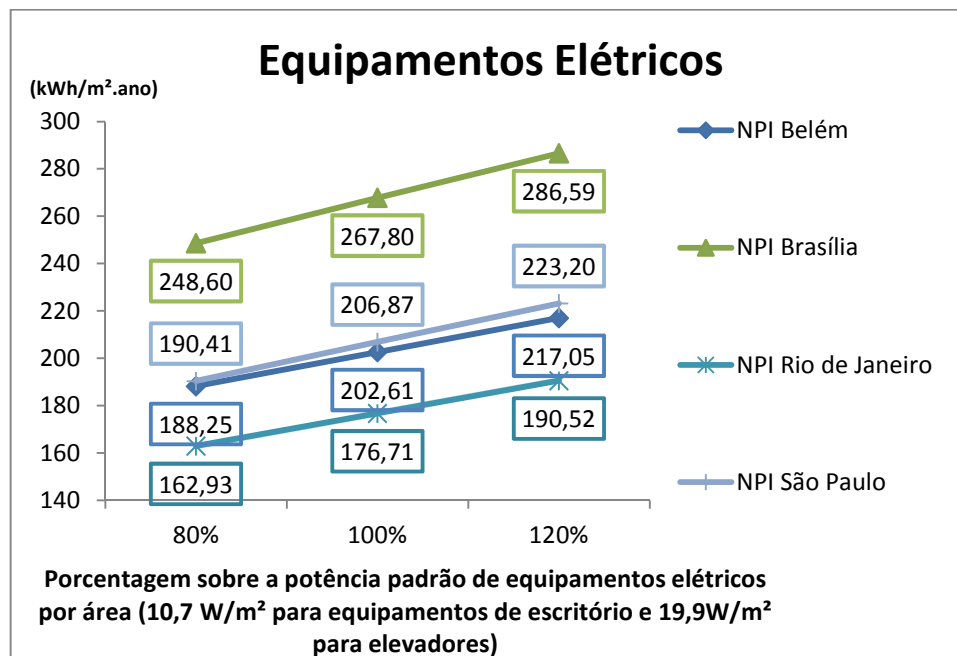


Figura 5.5 –NPI em função da variação da potência utilizada por equipamentos elétricos

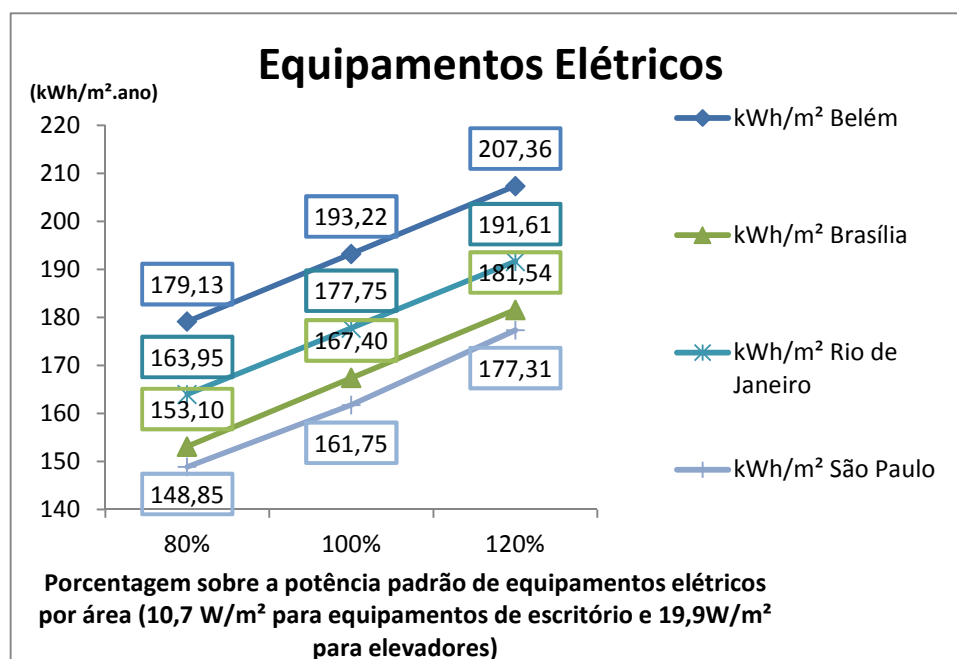


Figura 5.6 – Consumo elétrico sobre área em função da potência utilizada por equipamentos elétricos



#### 5.1.4. Ocupação do Edifício

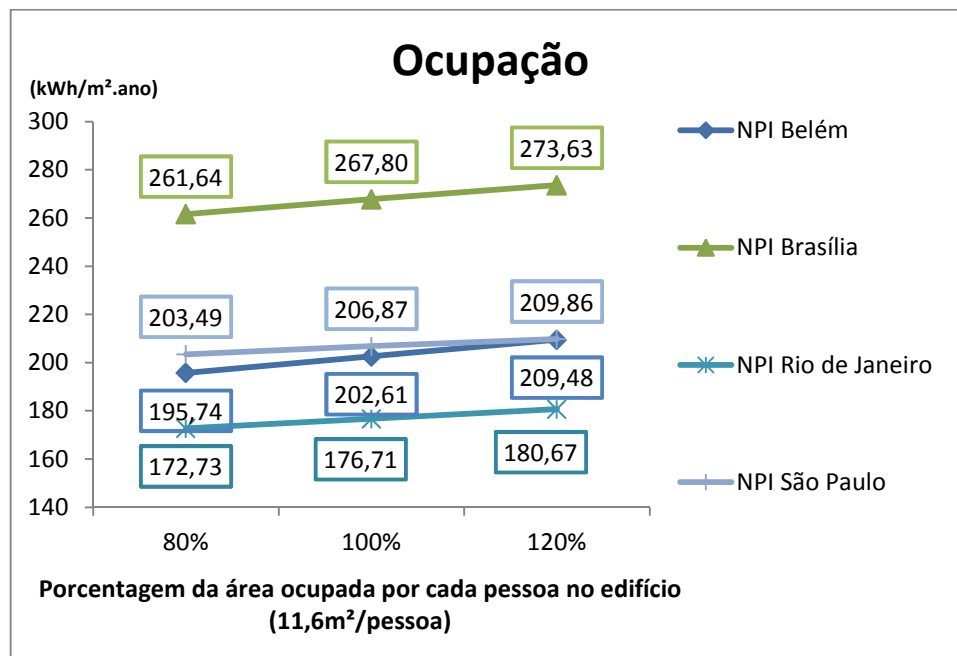


Figura 5.7 – NPI em função do parâmetro de ocupação

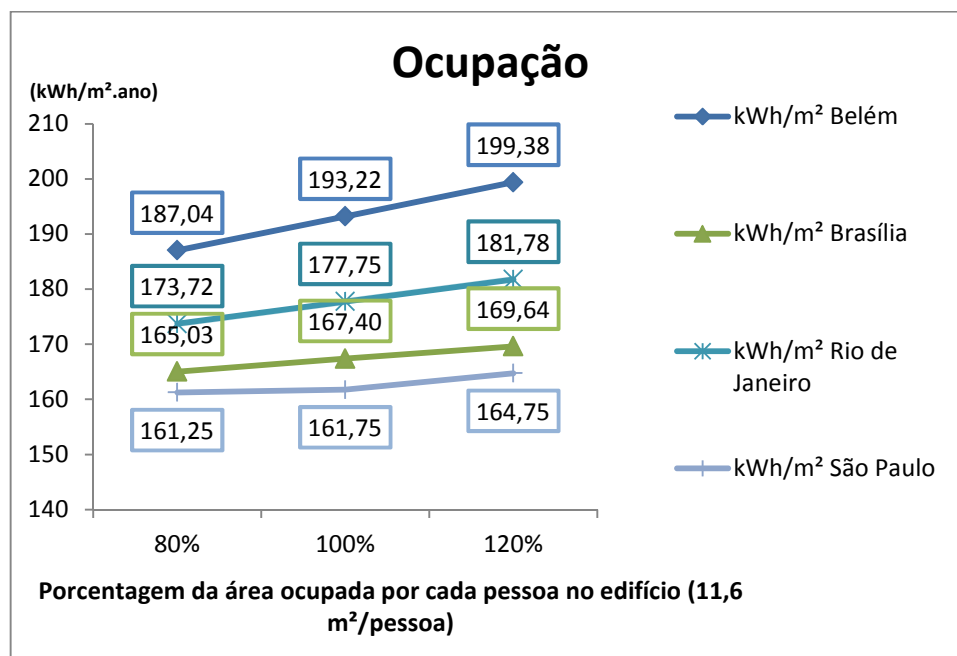


Figura 5.8 – Consumo elétrico sobre área em função do parâmetro de ocupação

## 6. RESULTADOS

Tabela 6.1 – Sensibilidade dos Indicadores para os diversos arquivos de clima

| Indicador               | Parâmetro  | Localidade     | Faixa de Valores                                                                                                                         |
|-------------------------|------------|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| kWh/m <sup>2</sup> .ano | Iluminação | Belém          | 180,27 a 206,20 kWh/m <sup>2</sup> .ano – variação de aproximadamente 6,7% sobre o valor de referência (193,22 kWh/m <sup>2</sup> .ano)  |
| NPI                     | Iluminação | Belém          | 189,33 a 215,94 kWh/m <sup>2</sup> .ano – variação de aproximadamente 6,57% sobre o valor de referência (202,62 kWh/m <sup>2</sup> .ano) |
| kWh/m <sup>2</sup> .ano | Iluminação | Brasília       | 154,18 a 180,40 kWh/m <sup>2</sup> .ano – variação de aproximadamente 7,83% sobre o valor de referência (167,40 kWh/m <sup>2</sup> .ano) |
| NPI                     | Iluminação | Brasília       | 248,70 a 286,30 kWh/m <sup>2</sup> .ano – variação de aproximadamente 7,02% sobre o valor de referência (267,80 kWh/m <sup>2</sup> .ano) |
| kWh/m <sup>2</sup> .ano | Iluminação | Rio de Janeiro | 165,10 a 190,45 kWh/m <sup>2</sup> .ano – variação de aproximadamente 7,13% sobre o valor de referência (177,75 kWh/m <sup>2</sup> .ano) |
| NPI                     | Iluminação | Rio de Janeiro | 164,08 a 189,35 kWh/m <sup>2</sup> .ano – variação de aproximadamente 7,15% sobre o valor de referência (176,70 kWh/m <sup>2</sup> .ano) |
| kWh/m <sup>2</sup> .ano | Iluminação | São Paulo      | 149,79 a 176,21 kWh/m <sup>2</sup> .ano – variação de aproximadamente 8,17% sobre o valor de referência (161,75 kWh/m <sup>2</sup> .ano) |
| NPI                     | Iluminação | São Paulo      | 190,76 a 222,54 kWh/m <sup>2</sup> .ano – variação de aproximadamente 7,68% sobre o valor de referência (206,86 kWh/m <sup>2</sup> .ano) |
| kWh/m <sup>2</sup> .ano | Ocupação   | Belém          | 187,04 a 199,38 kWh/m <sup>2</sup> .ano – variação de aproximadamente 3,19% sobre o valor de referência (193,22 kWh/m <sup>2</sup> .ano) |
| NPI                     | Ocupação   | Belém          | 195,74 a 209,48 kWh/m <sup>2</sup> .ano – variação de aproximadamente 3,39% sobre o valor de referência (202,62 kWh/m <sup>2</sup> .ano) |
| kWh/m <sup>2</sup> .ano | Ocupação   | Brasília       | 165,03 a 169,63 kWh/m <sup>2</sup> .ano – variação de aproximadamente 1,37% sobre o valor de referência (167,40 kWh/m <sup>2</sup> .ano) |
| NPI                     | Ocupação   | Brasília       | 261,64 a 273,63 kWh/m <sup>2</sup> .ano – variação de aproximadamente 2,24% sobre o valor de referência (267,80 kWh/m <sup>2</sup> .ano) |
| kWh/m <sup>2</sup> .ano | Ocupação   | Rio de Janeiro | 173,71 a 181,77 kWh/m <sup>2</sup> .ano – variação de aproximadamente 2,27% sobre o valor de referência (177,75 kWh/m <sup>2</sup> .ano) |
| NPI                     | Ocupação   | Rio de Janeiro | 172,72 a 180,67 kWh/m <sup>2</sup> .ano – variação de aproximadamente 2,25% sobre o valor de referência (176,70 kWh/m <sup>2</sup> .ano) |
| kWh/m <sup>2</sup> .ano | Ocupação   | São Paulo      | 161,24 a 164,75 kWh/m <sup>2</sup> .ano – variação de aproximadamente 1,08% sobre o valor de referência (161,75 kWh/m <sup>2</sup> .ano) |
| NPI                     | Ocupação   | São Paulo      | 203,49 a 209,85 kWh/m <sup>2</sup> .ano – variação de aproximadamente 1,54% sobre o valor de referência (206,86 kWh/m <sup>2</sup> .ano) |

|                         |                        |                |                                                                                                                                           |
|-------------------------|------------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| kWh/m <sup>2</sup> .ano | Equipamentos Elétricos | Belém          | 179,13 a 207,36 kWh/m <sup>2</sup> .ano – variação de aproximadamente 7,30% sobre o valor de referência (193,22 kWh/m <sup>2</sup> .ano)  |
| NPI                     | Equipamentos Elétricos | Belém          | 188,24 a 217,05 kWh/m <sup>2</sup> .ano – variação de aproximadamente 7,11% sobre o valor de referência (202,62 kWh/m <sup>2</sup> .ano)  |
| kWh/m <sup>2</sup> .ano | Equipamentos Elétricos | Brasília       | 153,10 a 181,54 kWh/m <sup>2</sup> .ano – variação de aproximadamente 8,49% sobre o valor de referência (167,40 kWh/m <sup>2</sup> .ano)  |
| NPI                     | Equipamentos Elétricos | Brasília       | 248,60 a 286,58 kWh/m <sup>2</sup> .ano – variação de aproximadamente 7,09% sobre o valor de referência (267,80 kWh/m <sup>2</sup> .ano)  |
| kWh/m <sup>2</sup> .ano | Equipamentos Elétricos | Rio de Janeiro | 163,95 a 191,61 kWh/m <sup>2</sup> .ano – variação de aproximadamente 7,78% sobre o valor de referência (177,75 kWh/m <sup>2</sup> .ano)  |
| NPI                     | Equipamentos Elétricos | Rio de Janeiro | 162,93 a 190,51 kWh/m <sup>2</sup> .ano – variação de aproximadamente 7,81% sobre o valor de referência (176,70 kWh/m <sup>2</sup> .ano)  |
| kWh/m <sup>2</sup> .ano | Equipamentos Elétricos | São Paulo      | 148,85 a 177,31 kWh/m <sup>2</sup> .ano – variação de aproximadamente 8,80% sobre o valor de referência (161,75 kWh/m <sup>2</sup> .ano)  |
| NPI                     | Equipamentos Elétricos | São Paulo      | 190,41 a 223,20 kWh/m <sup>2</sup> .ano – variação de aproximadamente 7,92% sobre o valor de referência (206,86 kWh/m <sup>2</sup> .ano)  |
| kWh/m <sup>2</sup> .ano | COP do Resfriador      | Belém          | 181,17 a 211,28 kWh/m <sup>2</sup> .ano – variação de aproximadamente 7,79% sobre o valor de referência (193,22 kWh/m <sup>2</sup> .ano)  |
| NPI                     | COP do Resfriador      | Belém          | 189,00 a 223,03 kWh/m <sup>2</sup> .ano – variação de aproximadamente 8,40% sobre o valor de referência (202,62 kWh/m <sup>2</sup> .ano)  |
| kWh/m <sup>2</sup> .ano | COP do Resfriador      | Brasília       | 159,32 a 179,50 kWh/m <sup>2</sup> .ano – variação de aproximadamente 6,03% sobre o valor de referência (167,40 kWh/m <sup>2</sup> .ano)  |
| NPI                     | COP do Resfriador      | Brasília       | 243,01 a 304,98 kWh/m <sup>2</sup> .ano – variação de aproximadamente 11,57% sobre o valor de referência (267,80 kWh/m <sup>2</sup> .ano) |
| kWh/m <sup>2</sup> .ano | COP do Resfriador      | Rio de Janeiro | 168,05 a 192,31 kWh/m <sup>2</sup> .ano – variação de aproximadamente 6,82% sobre o valor de referência (177,75 kWh/m <sup>2</sup> .ano)  |
| NPI                     | COP do Resfriador      | Rio de Janeiro | 167,18 a 190,99 kWh/m <sup>2</sup> .ano – variação de aproximadamente 6,74% sobre o valor de referência (176,70 kWh/m <sup>2</sup> .ano)  |
| kWh/m <sup>2</sup> .ano | COP do Resfriador      | São Paulo      | 155,70 a 174,26 kWh/m <sup>2</sup> .ano – variação de aproximadamente 5,74% sobre o valor de referência (161,75 kWh/m <sup>2</sup> .ano)  |
| NPI                     | COP do Resfriador      | São Paulo      | 192,19 a 228,88 kWh/m <sup>2</sup> .ano – variação de aproximadamente 8,87% sobre o valor de referência (206,86 kWh/m <sup>2</sup> .ano)  |

## 7. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Ao analisar os dados coletados, podemos verificar que, dentre os parâmetros variados entre as simulações, aquele que mais afeta o consumo energético é o COP do *resfriador*, ou seja, a capacidade do sistema de refrigeração. A variação percentual do NPI devido à variação do COP chega a ser 11,6%, para os dados climáticos de Brasília durante o ano de simulação.

Ainda analisando as variações percentuais, rearranjados na Tabela 7.1, temos um fato interessante: o Rio de Janeiro apresenta valores de indicadores muito semelhantes para cada simulação, assim como valores muito semelhantes nas variações percentuais desses indicadores (calculadas a partir da variação dos parâmetros do edifício listadas nos itens 5.1.1 a 5.1.4). Isso pode indicar que o clima não é um fator que afeta significativamente a simulação do edifício no Rio de Janeiro, ou que outros fatores relevantes do clima (como umidade relativa do ar e velocidade do vento) auxiliam a reduzir a carga térmica necessária para refrigerar o interior do prédio.

Tabela 7.1 – Comparação das variações percentuais, entre NPI e Consumo/área, que ocorrem ao variarmos os parâmetros de simulação

| <b>Belém</b>                                        | <b>Ocupação</b> | <b>Iluminação</b> | <b>Equipamentos</b> | <b>COP</b> |
|-----------------------------------------------------|-----------------|-------------------|---------------------|------------|
| kWh/m <sup>2</sup> .ano                             | 3,19%           | 6,71%             | 7,30%               | 7,79%      |
| NPI                                                 | 3,39%           | 6,57%             | 7,11%               | 8,40%      |
| ΔNPI é maior ou menor que ΔkWh/m <sup>2</sup> .ano? | Maior           | Menor             | Menor               | Maior      |
| <b>Brasília</b>                                     | <b>Ocupação</b> | <b>Iluminação</b> | <b>Equipamentos</b> | <b>COP</b> |
| kWh/m <sup>2</sup> .ano                             | 1,37%           | 7,83%             | 8,49%               | 6,03%      |
| NPI                                                 | 2,24%           | 7,02%             | 7,09%               | 11,57%     |
| ΔNPI é maior ou menor que ΔkWh/m <sup>2</sup> .ano? | Maior           | Menor             | Menor               | Maior      |
| <b>Rio de Janeiro</b>                               | <b>Ocupação</b> | <b>Iluminação</b> | <b>Equipamentos</b> | <b>COP</b> |
| kWh/m <sup>2</sup> .ano                             | 2,27%           | 7,13%             | 7,78%               | 6,82%      |

|                                                                     |                            |                            |                            |                            |
|---------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| NPI                                                                 | 2,25%                      | 7,15%                      | 7,81%                      | 6,74%                      |
| $\Delta$ NPI é maior ou menor que $\Delta$ kWh/m <sup>2</sup> .ano? | Menor (praticamente igual) | Maior (praticamente igual) | Maior (praticamente igual) | Menor (praticamente igual) |
| <b>São Paulo</b>                                                    | <b>Ocupação</b>            | <b>Iluminação</b>          | <b>Equipamentos</b>        | <b>COP</b>                 |
| kWh/m <sup>2</sup> .ano                                             | 1,08%                      | 8,17%                      | 8,80%                      | 5,74%                      |
| NPI                                                                 | 1,54%                      | 7,68%                      | 7,92%                      | 8,87%                      |
| $\Delta$ NPI é maior ou menor que $\Delta$ kWh/m <sup>2</sup> .ano? | Maior                      | Menor                      | Menor                      | Maior                      |

## 8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O propósito deste trabalho é avaliar a sensibilidade de dois dentre os diversos índices de desempenho energético de edifícios utilizados no mercado perante a variação de parâmetros de simulação que alteram a carga térmica do edifício.

Durante o trabalho, foi constatado que a energia gasta no edifício é mais sensível à variação do COP do resfriador. Os dois índices avaliados comportam-se da mesma maneira.

Podemos constatar que o índice de consumo simples (kWh/m<sup>2</sup>.ano) está dentro da faixa de índices de consumo que são encontradas na literatura, resumidos na Tabela 8.1. O consumo variou de 161,75 kWh/m<sup>2</sup>.ano (caso base para São Paulo) a 193,22 kWh/m<sup>2</sup>.ano (caso base para Belém).

Tabela 8.1 – Comparação de consumos elétricos entre diversos edifícios de escritórios encontrados na literatura

| Edifício               | Características Distintas                                                      | Localização   | Faixa de Consumo               | Referência                         |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------------------------|------------------------------------|
| Edifício Sede da Fiesc | 4 andares, 50x50m, vão central de 20x20m coberto por acrílico e bloco anexo de | Florianópolis | 100,71 kWh/m <sup>2</sup> .ano | (Westphal, Ghisi e Lamberts, 1998) |

|                                    |                                 |                      |                                |                                     |
|------------------------------------|---------------------------------|----------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
|                                    | 900 m <sup>2</sup>              |                      |                                |                                     |
| Edifício de Escritórios            | -                               | Tailândia            | 238,71 kWh/m <sup>2</sup> .ano | (Kofoworola e Gheewala, 2009)       |
| Edifício Simulado                  | 12 pavimentos<br>20m x 40m x 3m | Florianópolis        | 141,7 kWh/m <sup>2</sup> .ano  | (Signor, 1999)                      |
| Edifício de Escritórios            | 4 pavimentos<br>20x30m          | Omaha, Nebraska, EUA | 102 kWh/m <sup>2</sup> .ano    | (Henze, et al., 2008)               |
| Shopping Center                    | -                               | Quanyechang, China   | 239,8 kWh/m <sup>2</sup> .ano  | (Zhao, Zhu e Wu, 2009)              |
| Edifício de Escritórios            | -                               | EUA                  | 293 kWh/m <sup>2</sup> .ano    | (Pérez-Lombard, Ortiz e Pout, 2008) |
| Edifício de Escritórios e Hospital | -                               | Atenas, Grécia       | 128,6 kWh/m <sup>2</sup> .ano  | (ARGIRIOU, et al., 1994)            |

Além disso, os consumos são diretamente relacionados com as respectivas temperaturas de bulbo seco dos climas: para Belém, que possui as maiores temperaturas, o consumo foi de 193,22 kWh/m<sup>2</sup>.ano, enquanto para São Paulo, que possui as menores temperaturas, o consumo foi de 161,75 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

No início do trabalho, havia uma expectativa quanto ao comportamento do NPI para os diversos climas: esperava-se que os índices seriam muito parecidos depois de aplicado o método de normalização do consumo, talvez com uma pequena variação de até 10% entre si. No entanto, não foi esse o comportamento apresentado.

Os índices NPI para os edifícios de referência apresentaram uma faixa de valores maior para os diferentes climas que a faixa de valores do consumo elétrico sobre a área total do edifício. Foi realizada uma última tentativa de reduzir a faixa dos NPI, incluindo no cálculo o consumo devido à ventilação e bombas, mas isso resultou em uma ampliação ainda maior do intervalo.

Conforme dito no item 7, podem existir fatores de clima que afetam o cálculo do NPI, como irradiação solar (direta, difusa pelo solo e refletida pelo solo), umidade relativa do ar, pressão atmosférica, direção e velocidade do vento, além da temperatura de bulbo seco utilizada para o cálculo dos Graus-dia. É necessária uma análise posterior para estabelecer uma correlação entre esses fatores e o número de graus dia de uma determinada localidade, para então calcular um fator de correção climático que reduza a influência do clima sobre o consumo energético.

## 9. BIBLIOGRAFIA

ARGIROU, A. et al. ON THE ENERGY CONSUMPTION AND INDOOR AIR QUALITY IN OFFICE AND HOSPITAL BUILDINGS IN ATHENS, HELLAS. **Energy Convers**, Great Britain, 5, n. 35, 1994. 385-394.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. 90.1 User's Manual ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2004, Atlanta, 2004.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. Standard 90.1: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings, Atlanta, n. SI Edition, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16401-1: Instalações de ar-condicionado — Sistemas centrais e unitários. Parte 1: Projetos das Instalações, Rio de Janeiro, 2008.

BERALDO, J. C. **Eficiência Energética em Edifícios**: Avaliação de uma proposta de regulamento de desempenho térmico para a arquitetura do estado de São Paulo. 2006. 285p. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

BIZEE SOFTWARE LTD. Degree Days - Custom Degree Day Data. **Site da Business Energy Efficiency Software**, 2009. Disponível em: <<http://www.degree-days.net/>>. Acesso em: Dezembro 2009.

BIZEE SOFTWARE LTD. Degree Days - Handle with Care! **Site da Business Energy Efficiency Software**, 2009. Disponível em: <<http://www.energylens.com/articles/degree-days>>. Acesso em: Dezembro 2009.

CAI, W. G. et al. China building energy consumption: Situation, challenges and corresponding measures. **Energy Policy**, n. 37, 21 Janeiro 2009. 2054-2059.



CANBAY, Ç. S. **Optimization of HVAC Control Strategies By Building Management Systems. Case Study: Özdilek Shopping Center.** 2003. 99p. Tese de Mestrado. Izmir Institute of Technology, Izmir, Turkey, 2003.

CANBAY, Ç. S.; HEPBASLI, A.; GOKCEN, G. Evaluating performance indices of a shopping centre and implementing HVAC control principles to minimize energy usage. **Energy And Buildings**, n. 36, p. 587-598, 2004.

CHAN, A. T.; YEUNG, V. C. H. Implementing building energy codes in Hong Kong - energy savings, environmental impacts and costs. **Energy and Buildings**, n. 37, p. 631-642, 2005.

DENG, S.-M.; BURNETT, J. A study of energy performance of hotel buildings in Hong Kong. **Energy and Buildings**, n. 31, p. 7-12, 2000.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **International Energy Outlook.** U.S. Department of Energy. Washington, DC, p. 284. 2009.

GÓMEZ, L. A.; LAMBERTS, R. Simulação Da Influência De Algumas Variáveis Arquitetônicas No Consumo De Energia Em Edifícios. **III Encontro Nacional e I Encontro Latino - Americano de Conforto no Ambiente Construído**, Gramado, RS, 1995.

GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados Climáticos para Projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras.** 2ª Edição. ed. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1998.

HAMDI, M.; LACHIVER, G.; MICHAUD, F. A new predictive thermal sensation index of human response. **Energy and Buildings**, n. 29, p. 167-179, 1999.

HENZE, G. P. et al. Primary energy and comfort performance of ventilation assisted thermo-active building systems in continental climates. **Energy and Buildings**, n. 40, p. 99-111, 2008.

HORNE, R. E. et al. **International comparison of building energy performance standards**. 2005. 123p. Final Report. Centre of design, RMIT University, Melbourne, 2005. Disponível em: <<http://www.abc.net.au>>. Acesso em: 25 de Agosto 2009. In association with staff from RMIT School of Property Construction and Management and SBE Architects Ltd.

JAGGS, M.; PALMER, J. Energy performance indoor environmental quality retrofit — a European diagnosis and decision making method for building refurbishment. **Energy And Buildings**, v. 31, 2000.

KALZ, D. E.; HERKEL, S.; WAGNER, A. The impact of auxiliary energy on the efficiency of the heating and cooling system: Monitoring of low-energy buildings. **Energy and Buildings**, n. 41, p. 1019-1030, 13 Maio 2009.

KARASHIMA, T. M. **Avaliação de diferentes ferramentas de cálculo de carga térmica e sua aplicação na análise energética de edifícios**. 2006. 71p. Projeto de Graduação. Departamento de Engenharia Mecânica - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2006.

KOFOWOROLA, O. F.; GHEEWALA, S. H. Life cycle energy assessment of a typical office building in Thailand. **Energy And Buildings**, n. 41, p. 1076-1083, Junho 2009.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: PW Gráficos e Editores Associados, 1997.

LEE, A. S.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R. Verificação Da Eficiência Energética De Um Edifício De Escritórios Através De Simulação Computacional - Estudo De Caso No Departamento De Engenharia Civil Da UFSC. **VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano Sobre Conforto no Ambiente Construído**, São Pedro, SP, 11 a 14 Novembro 2001.

MCNEIL, M. A.; LETSCHERT, V. E. Future Air Conditioning Energy Consumption in Developing Countries and what can be done about it: The

Potential of Efficiency in the Residential Sector. **Lawrence Berkeley National Laboratory**, p. 1-14, 04 Abril 2008.

NETO, A. H.; FIORELLI, F. A. S. Comparison between detailed model simulation and artificial neural network for forecasting building energy consumption. **Energy and Buildings**, n. 40, p. 2169-2176, 2008.

NIBEL, S.; CHATAGNON, N.; ACHARD, G. E. **Assessment Method of Buildings**. INTERNATIONAL CONFERENCE SUSTAINABLE BUILDING. Maastrich: Proceedings. Maastricht: NOVEM; CIB; GBC. 2000.

OLOFSSON, T.; ANDERSSON, S.; SJÖGREN, J.-U. Building energy parameter investigations based on multivariate analysis. **Energy and Buildings**, n. 41, p. 71-80, 2009.

PÉREZ-LOMBARD, L.; ORTIZ, J.; POUT, C. A review on buildings energy consumption information. **Energy And Buildings**, n. 40, p. 394-398, 2008.

SAILOR, D. J. A green roof model for building energy simulation programs. **Energy and Buildings**, n. 40, p. 1466-1478, 2008.

SIGNOR, R. **Análise de regressão do consumo de energia elétrica frente a variáveis arquitetônicas para edifícios comerciais climatizados em 14 capitais brasileiras**. 1999. 314p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

SILVA, V. G. D.; SILVA, M. G. D.; AGOPYAN, V. Avaliação de edifícios no Brasil: da avaliação ambiental para avaliação de sustentabilidade. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 3, n. 3, p. 7-18, 25 Abril 2003. ISSN 1415-8876.

STEPANOV, V.; STARIKOVA, N.; STEPANOVA, T. Indices for estimation of energy conservation in space heating. **Energy and Buildings**, n. 31, p. 189-193, 2000.

STOECKER, W. F.; JONES, J. W. **Refrigeração e Ar Condicionado**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985. 481 p.

THYSSENKRUPP. Calculador de Tráfego. **Site da empresa Thyssen Krupp**, 2009. Disponível em: <[http://www.thyssenkruppelevadores.com.br/sitenovo/site/simuladores-e-tutoriais/zip/calculo\\_trafego.zip](http://www.thyssenkruppelevadores.com.br/sitenovo/site/simuladores-e-tutoriais/zip/calculo_trafego.zip)>. Acesso em: Dezembro 2009.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. Energy Plus Manual, v. 2.1, Washington, 2007. Documento Eletrônico.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. Weather Data. **Site do EnergyPlus Energy Simulation Software**, 2009. Disponível em: <[http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata/3\\_south\\_america\\_wmo\\_region\\_3/BRA\\_Sao.Paulo-Congonhas.837800\\_SWERA.epw](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata/3_south_america_wmo_region_3/BRA_Sao.Paulo-Congonhas.837800_SWERA.epw)>. Acesso em: 2009.

WESTPHAL, F. S.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. Simulação Energética no Edifício Sede da FIESC - Estudo de Retrofit no Sistema de Iluminação. **VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Florianópolis, SC, 1998.

YANNAS, S. Energy indices and performance targets for housing design. **Energy and Buildings**, n. 23, p. 237-249, 1996.

ZHAO, J.; ZHU, N.; WU, Y. The analysis of energy consumption of a commercial building in Tianjin, China. **Energy Policy**, v. 37, p. 2092-2097, Janeiro 2009.

ZHOU, N.; LIN, J. The reality and future scenarios of commercial building energy consumption in China. **Energy and Buildings**, n. 40, p. 2121-2127, 2008.

ZMEUREANU, R. A new method for evaluating the normalized energy consumption in office buildings. **Energy**, n. 17, p. 235-246, 1992.

