

LEANDRO FLORES NESS

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE PROTEÇÃO EXTERNA E INTERNA NA CARGA  
TÉRMICA E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM UMA EDIFICAÇÃO

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Otto Beyer

Porto Alegre  
2012



**Universidade Federal do Rio Grande do Sul**  
**Escola de Engenharia**  
**Departamento de Engenharia Mecânica**

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE PROTEÇÃO EXTERNA E INTERNA NA CARGA  
TÉRMICA E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM UMA EDIFICAÇÃO**

**LEANDRO FLORES NESS**

**ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS RE-  
QUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
ENGENHEIRO MECÂNICO  
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**Prof. Arnaldo Rubem Gonzalez  
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica**

Porto Alegre  
2012

Em memória de meu avô,  
*Alcides Ness.*

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, *Liliane Flores Ness e Marco Antonio Vicente Ness*, pelo apoio e dedicação que sempre me proporcionaram

ao meu orientador, *Prof. Dr. Paulo Otto Beyer* pela ajuda e disposição em concretizar este trabalho.

“A alegria está na luta, na tentativa, no sofrimento envolvido e não na vitória propriamente dita.”

*Mahatma Gandhi*

NESS, L. F. **Análise da influência de proteção externa e interna na carga térmica e consumo de energia elétrica para uma edificação**. 2012. 18f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

## **RESUMO**

O crescente aumento no número de edificações torna preocupante o uso em excesso das fontes de energia disponíveis. Para atender a este crescimento, sem comprometer as gerações futuras, é necessário encontrar alternativas para o uso dos recursos energéticos de forma sustentável. Nesse trabalho, realiza-se uma análise termo energética de uma edificação – situada no Campus Centro da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, anexa ao Instituto Parobé – com o *software EnergyPlus*. As alternativas propostas para simulação foram modificar os brizes externos, película para vidros, persiana horizontal e controle da potência de iluminação. A análise dos resultados mostrou que o efeito do controle de potência de iluminação pode trazer redução de 19% no consumo energético anual. Somando-se à película o resultado alcançado é de uma redução de 20%.

**PALAVRAS-CHAVES:** *EnergyPlus*, simulação, consumo energético, película, cortina.

NESS, L. F. **Análise da influência de proteção externa e interna na carga térmica e consumo de energia elétrica para uma edificação.** 2012. 18f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

## **ABSTRACT**

The increase in the number of buildings makes worrying excessive use of energy sources available. To meet this growth, without compromising future generations, we must find alternatives to the use of energy resources in a sustainable manner. In this paper, a thermo-energetic analysis is made for a building – located in the Campus Center, Federal University of Rio Grande do Sul, attached to the Institute Parobé – with EnergyPlus software. The proposed alternatives to the simulation were external brises, window protective film for glass, venetian blinds and consumption control of lighting. The results analysis showed that consumption control of lighting can reduce annual energy consumption by 19%. And together with the window protective film for glass the results achieved an annual energy consumption of 20%.

**KEYWORDS:** *EnergyPlus*, simulation, energy consumption, window protective film, curtain.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>1</b>
<b>3. ENERGYPLUS .....</b>	<b>2</b>
3.1. BALANÇO ENERGÉTICO DAS ZONAS TÉRMICAS .....	2
3.2. BALANÇO ENERGÉTICO NAS SUPERFÍCIES .....	2
3.3. ARQUIVO CLIMÁTICO .....	4
3.3. DIAS DE PROJETO .....	4
<b>4. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA .....</b>	<b>5</b>
4.1. EDIFICAÇÃO ORIGINAL .....	5
4.1.1. ELEMENTOS CONSTRUTIVOS .....	6
4.1.2. CARGAS TÉRMICAS INTERNAS .....	6
4.1.3. SISTEMA DE AR CONDICIONADO .....	6
4.1.4. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE AR CONDICIONADO .....	7
4.2. EDIFÍCIO PROPOSTO .....	7
4.3. SIMULAÇÕES .....	7
<b>5. ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>10</b>
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>13</b>
<b>BIBLIOGRAFIA CONSULTADA .....</b>	<b>13</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>14</b>
Apêndice A – Planta baixa do edifício .....	14
Apêndice B – <i>Schedules</i> .....	14
Apêndice C – Dimensionamento do sistema de ar condicionado .....	16
<b>ANEXO – Propriedades dos Elementos Construtivos .....</b>	<b>17</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Necessita-se reduzir o consumo de energia elétrica no país, o Brasil é o 10º maior consumidor, segundo dados da Agência Internacional de Energia Elétrica (AIE). O consumo de energia elétrica aumentou em torno de 38% nos últimos dez anos. Na construção civil, os edifícios hoje são os maiores consumidores. Afora as questões econômicas, têm-se as questões ambientais, que implicam na preocupação de utilizar ações de menor impacto ambiental.

Com a construção do Anexo Parobé, surgiu a necessidade de aplicar proteções nas vidraças para reduzir os efeitos solares internos da edificação, com o objetivo de diminuir a potência e consumo do sistema de ar condicionado.

O presente trabalho irá analisar com o auxílio do programa *EnergyPlus* a influência das proteções externas e internas, no consumo energético anual da edificação.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Inúmeros trabalhos já foram realizados com o objetivo de avaliar as influências termoeenergéticas para edificações devido a alterações nos fatores ambientais, características dos materiais e fatores internos como pessoas e equipamentos.

A reprodução de um caso real através de um modelo permite a facilidade na manipulação destas variáveis.

Seguem abaixo algumas citações de alguns trabalhos que utilizam simulação para obtenção de resultados.

Borduni e Pimenta, 2007, buscaram demonstrar o efeito de alterações arquitetônicas de sombreamento no comportamento da carga térmica de uma edificação.

Pereira, 2005, comparou resultados de consumo elétrico anual e de potência das lâmpadas com o sistema de iluminação contínua, que é definido pelo tradicional sistema de controle liga/desliga, e definiu que para iluminação programada tem-se um potencial de redução de 43% no consumo elétrico anual total da edificação. Analisou também a influência do ganho de calor, para dias típicos de projeto, através de fachadas de vidro de acordo com sua orientação, área e tipo de película utilizada sobre vidro simples. Os resultados obtidos mostraram que todos estes parâmetros alteraram sensivelmente a potência instalada necessária para obtenção de conforto térmico.

Schwieder, 2004, comparou resultados do consumo elétrico anual de potência de refrigeração de uma edificação com dois tipos de vidro: um simples com transmitância visível nominal de 90% e um vidro simples com película de transmitância visível nominal de 10%.

Após fez uma análise econômica comparando o primeiro caso com custo de instalação de sistema de condicionamento de ar dimensionado para vidro sem película, e considerou para o segundo caso o custo de instalação da película e do sistema de condicionamento de ar para vidro com película. A economia do vidro com película sobre o vidro sem película seria de 31%.

Cótica, 2003, no seu trabalho, demonstra através de simulação termoeenergética que a alteração de parâmetros construtivos, substituição de uma proteção de concreto por brize metálica, iria acarretar um aumento da carga térmica e do consumo elétrico da edificação em virtude do ganho de calor pelas janelas.

Cipriano, 2003, analisou o consumo de energia elétrica de um ambiente climatizado em uma edificação e comparou os resultados medidos e simulados através do *software EnergyPlus*, com base nos resultados constatou que o *software* é confiável.

Winkelmann, 2001, comenta que a transferência de calor pelas janelas seja responsável, em média, por 31% da carga térmica de resfriamento e 17% da carga térmica de aquecimento em edificações comerciais nos Estados Unidos da América.

### 3. ENERGYPLUS

Para o presente trabalho, será utilizado o *software EnergyPlus*. Trata-se de um programa de simulação de carga térmica e análise energética. A forma de cálculo da simulação é baseada no balanço de energia para as cargas térmicas e a condução do calor se dá através dos elementos da edificação de forma transiente.

O programa permite que para determinados intervalos de tempo ao longo de um período desejado, o usuário escolha todas as variáveis de saída para a simulação, arquivo climático da cidade, posição geográfica da edificação, condições de contorno e sistema de climatização.

#### 3.1 BALANÇO ENERGÉTICO DAS ZONAS TÉRMICAS

Conforme o manual do *EnergyPlus* [EnergyPlus Manual, 2012]:, uma zona térmica é um volume de ar à temperatura uniforme e cada zona tem um sistema independente de controle térmico. Com a divisão da edificação em diversas zonas térmicas é possível analisar separadamente cada ambiente identificando lugares com maiores ou menores demandas energéticas.

Utilizando o balanço energético para cada parte da edificação (paredes, janelas, forro, piso), a solução é encontrada a partir da equação do balanço de energia dado pela equação abaixo:

$$\frac{dT_Z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{superfícies}} h_i A_i (T_{si} - T_Z) + \sum_{i=1}^{N_{zonas}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_Z) + \dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_Z) + \dot{Q}_{sys} \quad (1)$$

onde  $C_Z \frac{dT_Z}{dt}$  é a taxa de energia acumulada no volume de ar da zona térmica, em W,  $\sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i$  é a soma das cargas internas convectivas, em W,  $\sum_{i=1}^{N_{superfícies}} h_i A_i (T_{si} - T_Z)$  é a transferência de calor por convecção oriunda das superfícies da zona térmica, em W,  $\sum_{i=1}^{N_{zonas}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_Z)$  é o somatório das taxas de calor por troca de ar com outras zonas, em W,  $\dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_Z)$  é a transferência de calor devido à infiltração de ar externo na zona, em W e  $\dot{Q}_{sys}$  é a taxa de troca de calor com o sistema de climatização.

#### 3.2 BALANÇO ENERGÉTICO NAS SUPERFÍCIES

Os fluxos de energia nas paredes externas e internas são das formas radiativa, convectiva e condutiva e o balanço energético dos seus fluxos é dado pelas seguintes equações:

Parede externa:

$$q''_{sol} + q''_{lwr} + q''_c - q''_{ko} = 0 \quad (2)$$

onde:

$q''_{sol}$  = fluxo de radiação solar difusa refletida e direta absorvida [W/m<sup>2</sup>].

$q''_{lwr}$  = fluxo de radiação de onda longa trocada entre a superfície e seu entorno [W/m<sup>2</sup>].

$q''_c$  = fluxo convectivo trocado pela superfície com o ar [W/m<sup>2</sup>].

$q''_{ko}$  = fluxo de calor condutivo do exterior através da parede [W/m<sup>2</sup>].

Parede interna:

$$q''_{lwx} + q''_{sw} + q''_{lws} + q''_{ki} + q''_{sol} + q''_c = 0 \quad (3)$$

onde:

$q''_{lwx}$  = fluxo de radiação solar de onda longa trocada entre as superfícies da zona [W/m<sup>2</sup>].

$q''_{sw}$  = fluxo de radiação das ondas curtas das luzes para a superfície [W/m<sup>2</sup>].

$q''_{lws}$  = fluxo de radiação de onda longa dos equipamentos da zona para a superfície [W/m<sup>2</sup>].

$q''_{ki}$  = fluxo de calor condutivo para o interior através da parede [W/m<sup>2</sup>].

$q''_{sol}$  = fluxo de radiação solar transmitida, absorvida pela superfície [W/m<sup>2</sup>].

A transferência de calor devido à convecção exterior é feita usando a fórmula para o coeficiente de transferência de calor por convecção forçada representada a seguir:

$$h_c = h_n + R_f \left[ \sqrt{h_n^2 + (aV_z b^2)} - h_n \right] \quad (4)$$

onde:

$h_n$  = coeficiente de transferência de calor por convecção natural.

$R_f$  = rugosidade da superfície.

$a$  e  $b$  = constantes.

$V_z$  = velocidade do vento.

Para o coeficiente de convecção natural é usado a seguinte correlação:

$$h_n = c \frac{(\Delta T)^{1/3}}{d - (\cos \Sigma)} \quad (5)$$

onde:

$c$  e  $d$  = constantes.

$\Delta T$  = diferença de temperatura do ar na superfície.

$\Sigma$  = ângulo de inclinação da superfície.

As funções de transferência por condução (CTF) calculam os fluxos de calor dentro da superfície. A mais básica solução temporal são as equações de fator de resposta, que relacionam o fluxo de calor em uma superfície de um elemento com uma série infinita de temperaturas em ambos os lados de uma parede. A forma básica de uma solução baseada em CTF é mostrada nas seguintes equações, onde o sub-índice “t” indica o passo de tempo [EnergyPlus Manual, 2012]:

$$q''_{ki}(t) = -Z \delta T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Z_j T_{i,t-j\delta} + Y \delta T_{o,t} \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nz} \Phi_j q''_{ki,t-j\delta} \quad (6)$$

e para o fluxo de calor externo:

$$q''_{k0}(t) = -Y \delta T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{i,t-j\delta} + X \delta T_{o,t} \sum_{j=1}^{nz} X_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nz} \Phi_j q''_{ki,t-j\delta} \quad (7)$$

onde:

$q''_{ki}(t)$  = fluxo de calor condutivo para o interior, na face interna da parede [W/m<sup>2</sup>].

$q^{ko}(t)$  = fluxo de calor condutivo do exterior, na face externa da parede [W/ m<sup>2</sup>].

$X_j$  = coeficiente de fator de resposta da CTF.

$Y_j$  = coeficiente de fator de resposta transversal da CTF.

$Z_j$  = coeficiente de fator de resposta interno da CTF.

$\Phi_j$  = coeficiente de fator de resposta de fluxo da CTF.

$T_i$  = temperatura da face interna da parede [K].

$T_o$  = temperatura da face externa da parede [K].

### 3.3 ARQUIVO CLIMÁTICO

O arquivo climático utilizado para o presente trabalho foi obtido através do LABEEE [2009]. Arquivos climáticos reúnem informações de 8.760 horas de uma série de dados meteorológicos para cada localização geográfica na forma de ano climático. É inserido no *Energy-Plus* para obtenção do consumo de energia elétrica da edificação em um período pré definido.

Relação de alguns dados contidos no arquivo climático:

- Temperatura de bulbo seco
- Temperatura de bulbo úmido
- Temperatura de orvalho
- Umidade relativa
- Direção do vento
- Velocidade do vento
- Pressão atmosférica

A composição reúne os doze meses que melhor representam o clima da localidade.

### 3.4 DIAS DE PROJETO

Os dias de projeto são simulados de acordo com as ASHRAE. Trabalha-se com 1% de frequência cumulativa anual para o verão e 99% para o inverno, a fim de se garantir um bom rendimento do sistema de condicionamento de ar. São definidos os dias que o sistema de condicionamento de ar solicita mais potência de resfriamento (verão) e aquecimento (inverno).

Relação dos dias escolhidos para dias de projeto:

Inverno:

- 21 de julho

Verão:

- 21 de dezembro
- 21 de janeiro
- 21 de fevereiro
- 21 de março

Para os dias de verão, as datas influenciam de forma significativa nas posições solares da edificação.

## 4. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Escolheu-se uma edificação ainda em processo de construção, visando analisar as possíveis melhorias, que aplicadas antes da concretização da obra, pudessem reduzir o consumo energético anual.

A edificação está situada na cidade de Porto Alegre, latitude  $30^{\circ}$  S e longitude  $51^{\circ}18'$  W 3m de altitude, posicionada a  $60^{\circ}$  sentido anti-horário em relação ao norte verdadeiro, salientando a participação da fachada envidraçada nos ganhos de calor da edificação, o que gerou a maior preocupação, tornando necessária a simulação de elementos de proteção contra a incidência de raios solares.

Foram simulados diferentes ângulos do brize externo, opções de películas, persiana e automatização das lâmpadas. As simulações foram analisadas e combinadas a fim de se obter soluções ótimas de consumo de energia.

### 4.1 EDIFICAÇÃO ORIGINAL

A face frontal do Anexo-Parobé foi tomada como modelo para análise energética, em função e que a parte traseira do prédio mantém-se na maior parte do dia, sombreada pelo prédio atual da Engenharia Mecânica, conforme Figura 4.1.

O prédio possui vinte zonas térmicas distribuídas em cinco pavimentos conforme planta baixa mostrada no Apêndice A. Possui comprimento de 49 m e largura de 11 m, e pé direito de 3,9m, formando  $540\text{ m}^2$  de área por pavimento e  $965\text{ m}^2$  de área de fachada, composta em 99% de área envidraçada, conforme Figura 4.2. Para o sistema de condicionamento de ar foi escolhido o sistema SPLIT, que é originado do sistema tradicional de janela, mas dividido em parte interna (evaporador) e parte externa (condensador).

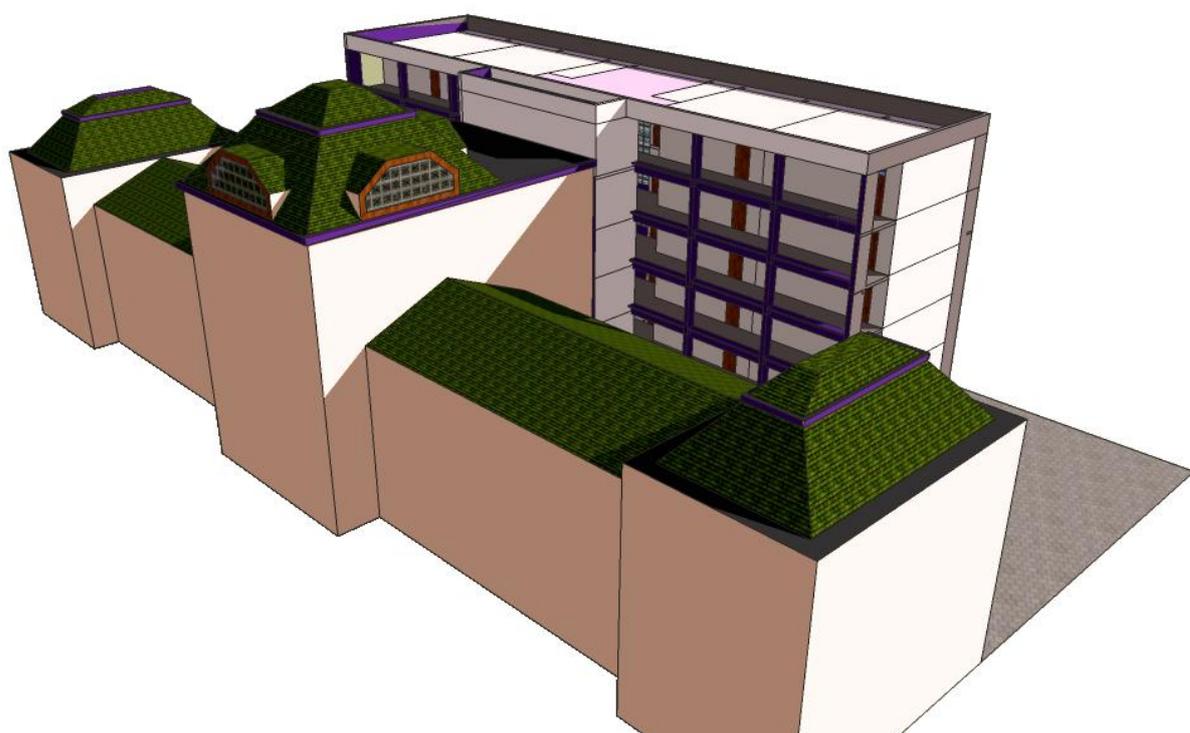


Figura 4.1 – Modelo físico criado no *software Google SketchUp 7.1*

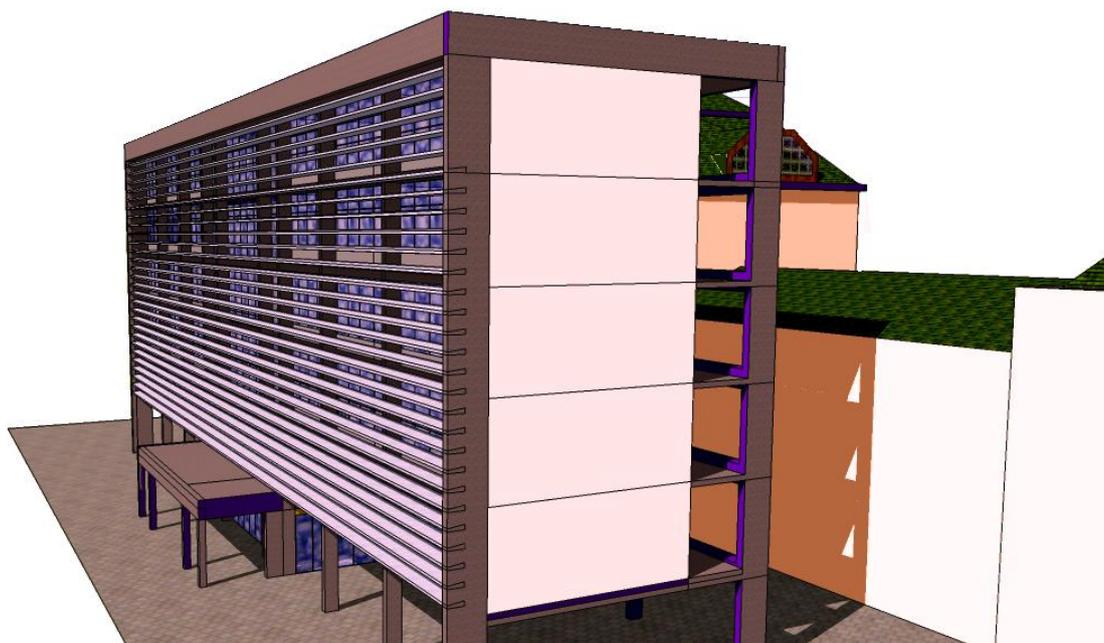


Figura 4.2 – Fachada envidraçada do Anexo-Parobé

#### 4.1.1 ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

Na composição dos elementos construtivos foram utilizados alvenaria de tijolo (150 mm) com reboco nos dois lados (25 mm) para pisos, forros, paredes externas e internas, os vidros externos são claros com espessura de 3 mm, as portas são compostas por 25 mm de madeira. As propriedades são mostradas no Anexo A.

#### 4.1.2 CARGAS TÉRMICAS INTERNAS

Cargas térmicas internas são as taxas de calor liberadas no interior de um ambiente devido principalmente à dissipação de energia de pessoas e equipamentos.

Para a ocupação das pessoas foi determinado uma densidade média de 1 pessoa/m<sup>2</sup> com dissipação de 130 W cada, e fração radiante de 50%. Para os equipamento determinou-se uma dissipação de 300 W por zona climatizada e fração radiante de 30% e para a o sistema de iluminação determinou-se uma dissipação média de energia de 15 W/m<sup>2</sup> com fração radiante de 72% e fração visível de 18%. As cargas horárias de ocupação, iluminação e equipamentos podem ser vistas no Apêndice A.

#### 4.1.3 SISTEMA DE AR CONDICIONADO

Para o sistema de ar condicionado foi escolhido o do tipo SPLIT, com uma única unidade externa (condensador) para cada unidade interna (evaporador).

O sistema é programado para funcionar das 8 h às 22 h nos dias de semana, das 8 h às 12 h nos sábados, e domingos e feriados o sistema se mantém desligado. Os horários de funcionamento podem ser vistos no Apêndice B. A temperatura programada para o verão é de 21° C e para o inverno é de 24° C. A renovação de ar por zona, normalizada Anvisa (1998), é de 405 m<sup>3</sup>/h.

#### 4.1.4 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE AR CONDICIONADO

Com as variáveis de entrada tornou-se possível simular e definir a potência para o sistema de ar condicionado. Os resultados para cada zona térmica são mostrados no Apêndice C.

#### 4.2 EDIFÍCIO PROPOSTO

Para melhorar o consumo energético do edifício modelo, foram propostos dois tipos de proteção externa com diferentes ângulos de inclinação ( $20^\circ$  e  $26^\circ$  de inclinação) além do modelo base com inclinação de  $12^\circ$ , três configurações para películas protetoras, persianas internas horizontais e controle de potência das lâmpadas. As demais configurações seguem iguais ao edifício original. Na Figura 4.3, é mostrado a proteção externa (brize) do edifício original.

BRIZE DO EDIFÍCIO ORIGINAL

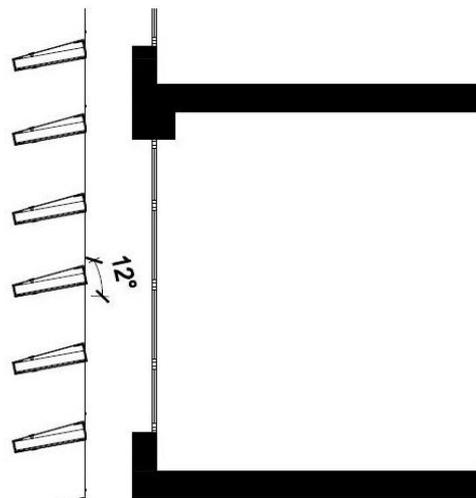


Figura 4.3 – Proteção externa do edifício original

#### 4.3 SIMULAÇÕES

No primeiro momento, foi realizada a simulação do modelo base, com as configurações da edificação original. Os resultados do consumo energético anual total do edifício podem ser vistos na Figura 4.4.

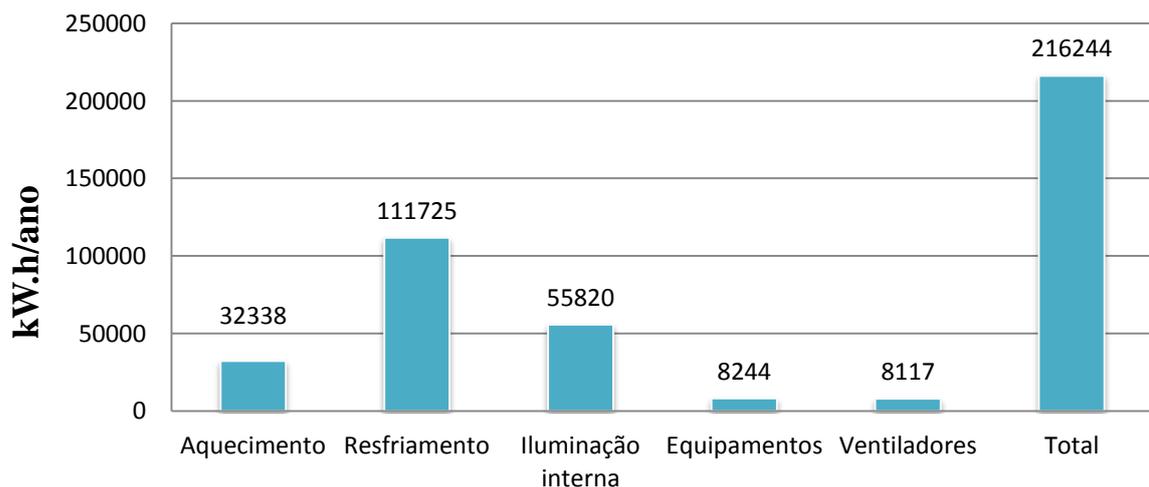


Figura 4.4 – Consumo energético anual do edifício original

O consumo do sistema de ar condicionado corresponde à soma dos consumos de aquecimento, resfriamento e ventilação. O consumo da edificação corresponde à soma dos consumos de iluminação interna e equipamentos. Os consumos ao longo dos meses do ano podem ser vistos na Figura 4.5.

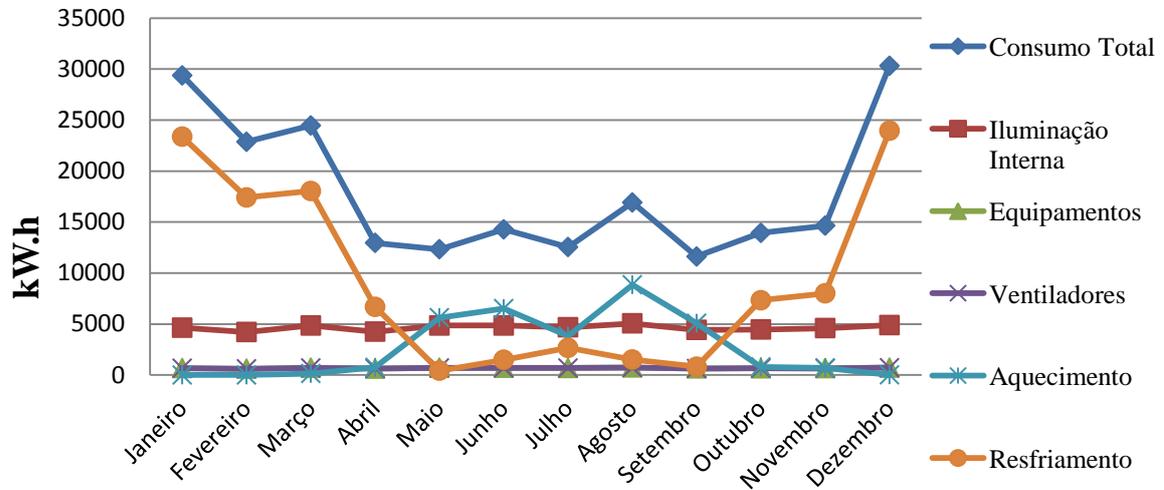


Figura 4.5 – Consumo energético de janeiro a dezembro para o edifício original

Pode-se observar, na Figura 4.5, que da metade de setembro à metade de abril, o resfriamento representa o maior consumo de energia, enquanto que no restante do ano o maior consumo é devido ao aquecimento. O percentual de cada fator no consumo total de energia pode ser visto na Figura 4.6.

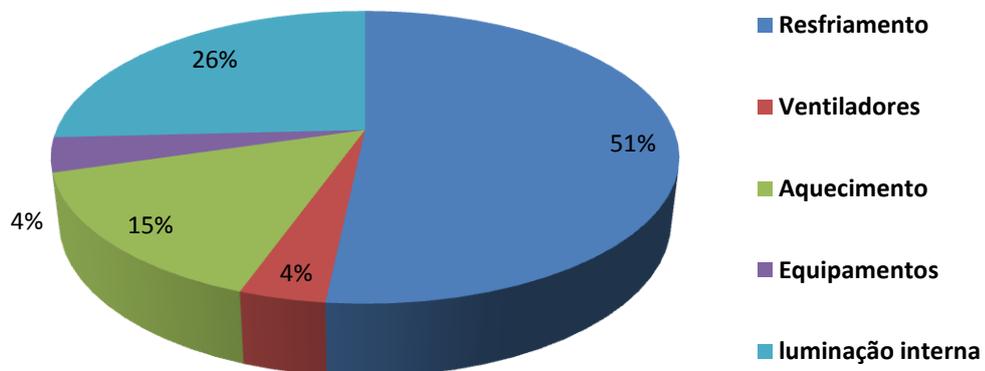


Figura 4.6 – Percentual de cada fator no consumo total de energia para o edifício original

Pode-se verificar, na Figura 4.6, que o ar condicionado representa 70 % do consumo de energia total da edificação. Em seguida foram simuladas duas opções para brize, e comparados com o consumo da edificação original. Os resultados podem ser vistos na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Resultados da simulação para os brizes

Item	Consumo anual [kWh]	Redução de consumo
Modelo base (com brize 12°)	216244	-
Brize com 20° de inclinação	213960	1.0%
Brize com 26° de inclinação	213451	1.3%

Observando a Tabela 4.1, verifica-se que a brize com 26° de inclinação proporciona menor consumo energético. Na Figura 4.7, pode-se visualizar a influência das proteções externas na iluminação natural do ambiente climatizado.



Figura 4.7 – Proteções externas

Na próxima etapa, foi realizada a simulação do edifício original com o sistema de controle de potência das lâmpadas, no modo de controle contínuo e controle discreto (*step by step*), nos dois casos foram simulados dois sensores regulados para 500 lux, posicionados a 80 cm de altura em relação ao piso, para cada uma das vinte zonas climáticas. Os resultados podem ser vistos na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Resultados da simulação para o sistema de controle de potência das lâmpadas

Item	Consumo anual [kWh]	Redução de consumo
Modelo base	216244	-
Controle de lâmpadas contínuo	173276	20%
Controle de lâmpadas discreto	174558	19%

De acordo com os resultados obtidos na Tabela 4.1 e Tabela 4.2, foram realizadas simulações, combinando as brizes, com controle de potência das lâmpadas, com películas, persiana, e comparados com o consumo do modelo base. Os resultados podem ser vistos na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Percentual de consumos das simulações em relação ao modelo base

<b>Simulações</b>	<b>Consumo anual [kW.h]</b>	<b>Consumo em relação ao modelo base</b>
Modelo Base	216244	-
Modelo Base + Pel. Silver 50+ Cont. Lamp.	173655	80%
Brize 26° + Persiana + Cont. Lamp.	175400	81%
Modelo Base + Pel. Silver 35 + Cont. Lamp.	177725	82%
Brize 26° + Pel. Silver 50 + Cont. Lamp.	178532	83%
Brize 26° + Pel. Silver 35 + Cont. Lamp.	183121	85%
Modelo Base + Pel. Bronze 20 + Cont. Lamp.	185164	86%
Brize 26° + Pel. Bronze 20 + Cont. Lamp.	189225	88%
Modelo Base + Persiana + Cont. Lamp.	198253	92%
Brize 26° + Pel. Bronze 20	207171	95%
Brize 26° + Pel. Silver 35	208598	96%
Modelo Base + Pel. Bronze 20	209552	97%
Brize 26° + Pel. Silver 50	209853	97%
Modelo Base + Pel. Silver 35	211070	98%
Modelo Base + Pel. Silver 50	212406	98%
Brize 26° + Persiana	213451	99%
Modelo Base + Persiana	220204	102%

Analisando os resultados, foram selecionadas alternativas que obtiveram os maiores percentuais de redução de energia e comparados na etapa seguinte.

## 5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para efeitos de comparação, foram selecionados dois tipos de brize, duas películas e controle de potência de iluminação, os quais obtiveram as maiores reduções no consumo de energia em relação ao modelo base, conforme é mostrado na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Itens selecionados para comparação com o modelo base

<b>Simulações</b>	<b>Consumo anual [kW.h]</b>	<b>Consumo em relação ao modelo base</b>
Modelo Base + Pel. Silver 50 + Controle das lâmpadas	173655	80%
Brize 26° + Persiana + Controle das lâmpadas	175400	81%
Modelo Base + Pel. Silver 35 + Controle das lâmpadas	177725	82%
Brize 26° + Pel. Silver 50 + Controle das lâmpadas	178532	83%
Brize 26° + Pel. Silver 35 + Controle das lâmpadas	183121	85%

Pode-se verificar que o modelo base com película Silver 50 e controle de potência da iluminação é a melhor solução para redução do consumo de energia, e comparado às outras propostas tem a vantagem de manter o brize externo original da edificação. A seguir, na tabela 5.2 podemos comparar o consumo energético da edificação original com as propostas simuladas.

Tabela 5.2 – Comparações entre as propostas e o modelo base [kW.h/ano]

Item	Modelo base	Modelo Base + Pel. Silver 50 + Cont. lamp	Brize 26° + Persiana + Cont. lamp	Modelo Base + Pel. Silver 35 + Cont. lamp	Brize 26° + Pel. Silver 50 + Cont. lamp	Brize 26° + Pel. Silver 35 + Cont. lamp
<b>Aquecimento</b>	32338	33799	33514	33675	33543	33432
<b>Ventilação</b>	8117	7301	7272	7194	6923	6844
<b>Resfriamento</b>	111725	101437	102902	100852	100289	100029
<b>Equipamentos</b>	8244	8244	8244	8244	8244	8244
<b>Iluminação</b>	55820	22874	23469	27760	29534	34572
<b>Consumo total [kW.h/ano]</b>	216244	173655	175400	177725	178532	183121
<b>Economia ao longo do ano</b>	-	<b>20%</b>	<b>19%</b>	<b>18%</b>	<b>17%</b>	<b>15%</b>

Na Tabela 5.2 podemos verificar o percentual de redução do consumo energético em relação ao modelo base. A Figura 5.1 mostra a comparação de consumo mensal para as propostas de melhor desempenho.

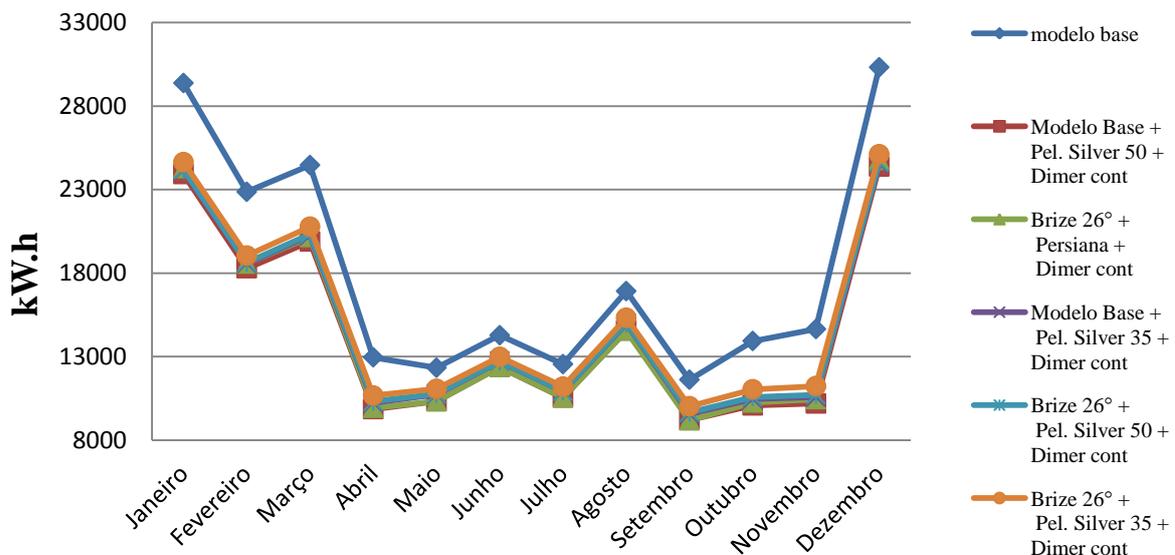


Figura 5.1 – Comparação entre o consumo mensal das edificações

Na Figura 5.1 pode-se verificar os picos de consumo que ocorrem entre os meses de dezembro a março, devido à maior utilização do ar condicionado nestes meses (refrigeração). Na Figura 5.2 a seguir, é possível ver o consumo energético anual do modelo base comparado com as propostas selecionadas.

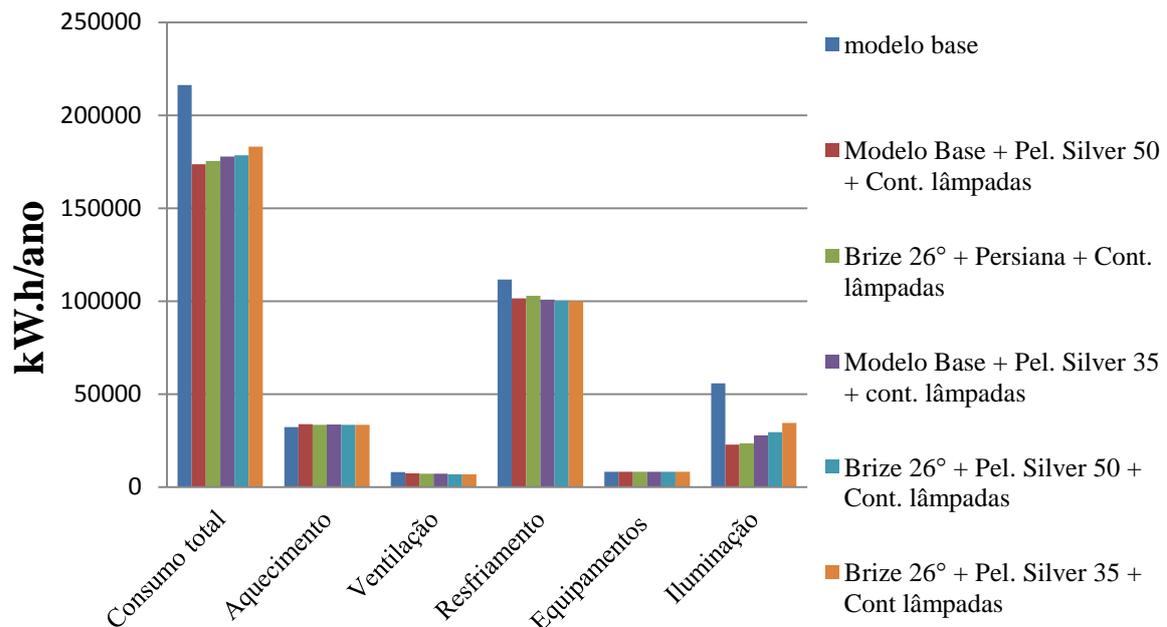


Figura 5.2 – Consumo anual do modelo base e das propostas

Analisando-se a Figura 5.2 percebe-se que com a proposta de película Silver 50 e controle de iluminação foi obtido um leve aumento na potência de aquecimento comparado com o modelo base. O aumento é justificado pelo menor ganho de calor pelas janelas, devido à aplicação de película protetora, ocasionando uma maior utilização do ar condicionado (aquecimento). Pode ser observado, que a maior redução acontece na carga de iluminação interna, devido ao controle de potência das lâmpadas, que consequentemente reduz o consumo do ar condicionado (resfriamento).

## 5. CONCLUSÃO

Os resultados foram satisfatórios quanto à redução no consumo anual de energia elétrica. As propostas simuladas obtiveram percentuais consideráveis de redução no consumo energético, comparados com o edifício original. As propostas selecionadas foram película Silver 50, persiana horizontal com brize externa 26°, película Silver 35, película Silver 50 com brize externa 26° e película Silver 35 com brize externa 26°.

Todas as propostas foram simuladas com controle de potência das lâmpadas.

A proposta de película Silver 50 com controle de potência das lâmpadas obteve redução de 20% no consumo energético anual, e mostra-se a melhor alternativa, com menores investimentos, comparada com as propostas que incluem alteração na proteção externa (brize).

Utilizando o controle de potência das lâmpadas com película Silver 35 chegou-se a uma redução de 18% em relação ao edifício original e comparado com a película Silver 50, obteve 1% de redução na potência de ar condicionado (resfriamento).

As propostas utilizando apenas as películas não foram selecionadas como as melhores alternativas. Com a película Bronze 20 chegou-se a uma redução de 3% no consumo energético anual, e fica como alternativa de baixo custo.

## REFERÊNCIAS

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução 176 da portaria nº3.523, de 28 de agosto de 1.998.

ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., **Standard 90.1: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings**, SI Edition. Atlanta, USA, 2007.

BORDUNI, R; PIMENTA, J. “**Análise do impacto de elementos de sombreamento externo sobre a carga térmica de edificações.**” Apresentado no X Congresso Brasileiro de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação, Aquecimento e Tratamento de Ar. São Paulo, 2007.

CIPRIANO, C. J., 2003.“**Simulação termo energética de um sistema de ar condicionado para comparação dos resultados medidos e simulados.**” Monografia em Engenharia Universidade Federal do Rio Grande do Sul/DEMEC Porto Alegre, Brasil.

CÓTICA, M. S., 2003.“**Análise do impacto da retirada da proteção externa na carga térmica e no consumo de energia elétrica de uma edificação.**” Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Brasil, 23p.

ENERGYPLUS. *EnergyPlus Input and Output Reference – The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output*, Version 3.0., Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, USA, 2008.

ENERGYPLUS. Software. Disponível em <http://www.energyplus.gov>. Acesso em 15/03/2012.

LABEEE, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. **Arquivos Climáticos**. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br>. Acesso em 02/10/2009.

PEREIRA, F. L., 2005.“**Determinação Computacional da Influência de Parâmetros Físicos no Comportamento Termoenergético de uma Edificação**”, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, PROMEC/UFRGS. Porto Alegre, Brasil, 178p.

SCHWIEDER, A. O., 2004.“**Análise termo energética da utilização de películas nos vidros da fachada de um prédio comercial climatizado e sua viabilidade econômica.**” Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Brasil, 22p.

## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

BEYER, P. O.,**Refrigeração**. Apostila, Departamento de Engenharia Mecânica, DE-MEC/UFRGS, Porto Alegre, Brasil, 2003.

INCROPERA, Frank P.; DEWIT, David P. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A – PLANTAS BAIXAS DAS ZONAS TÉRMICAS

Conforme citado no capítulo 4, a planta baixa padrão para os cinco pavimentos é mostrada na Figura A.1.



Figura A.1 – Planta baixa do Anexo Parobé

### APÊNDICE B – CARGA HORÁRIA DE ILUMINAÇÃO, OCUPAÇÃO E SISTEMA DE CONDICIONAMENTO

Conforme citado no capítulo 4, as cargas de iluminação, ocupação e sistema de condicionamento são mostradas nas Tabelas B.1, B.2 e B.3.

Tabela B.1 - Carga horária de iluminação interna

<b>Período</b>	<b>dias de semana</b>	<b>sábados</b>	<b>domingos e feriados</b>
00:00 às 08:00	0%	0%	0%
08:00 às 12:00	100%	50%	0%
12:00 às 14:00	0%	0%	0%
14:00 às 18:00	100%	0%	0%
18:00 às 19:00	50%	0%	0%
19:00 às 20:00	100%	0%	0%
20:00 às 22:00	50%	0%	0%
22:00 às 24:00	0%	0%	0%

Tabela B.2 – Carga horária de ocupação interna

<b>Período</b>	<b>dias de semana</b>	<b>sábados</b>	<b>domingos e feriados</b>
00:00 às 08:00	0%	0%	0%
08:00 às 09:00	100%	33%	0%
09:00 às 12:00	100%	33%	0%
12:00 às 14:00	0%	0%	0%
14:00 às 18:00	100%	0%	0%
18:00 às 19:00	0%	0%	0%
19:00 às 20:00	100%	0%	0%
20:00 às 22:00	33%	0%	0%
22:00 às 24:00	0%	0%	0%

Tabela B.3 – Carga horária do funcionamento do sistema de ar condicionado

<b>Período</b>	<b>dias de semana</b>	<b>sábados</b>	<b>domingos e feriados</b>
00:00 às 08:00	0%	0%	0%
08:00 às 12:00	100%	100%	0%
12:00 às 22:00	100%	0%	0%
22:00 às 24:00	0%	0%	0%

## APÊNDICE C – DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE CONDICIONAMENTO

Conforme citado no capítulo 4, as potências e os modelos para o sistema de ar condicionado selecionados por zona térmica, são mostrados na Tabela C.1.

Tabela C.1 – Dimensionamento do sistema de ar condicionado

<b>Zona térmica</b>	<b>Potência por zona [W/hora]</b>	<b>Tipo</b>	<b>Quantidade por zona</b>	<b>Modelo</b>
<b>Sala 01</b>	21031	teto	2	RPC030FP
<b>Sala 02</b>	16830	teto	2	RPC025FP
<b>Sala 03</b>	16802	teto	2	RPC025FP
<b>Sala 04</b>	21668	teto	2	RPC030FP
<b>Sala 05</b>	20941	teto	2	RPC030FP
<b>Sala 06</b>	17673	teto	2	RPC025FP
<b>Sala 07</b>	16641	teto	2	RPC025FP
<b>Sala 08</b>	21606	teto	2	RPC030FP
<b>Sala 09</b>	20878	teto	2	RPC030FP
<b>Sala 10</b>	16890	teto	2	RPC025FP
<b>Sala 11</b>	16631	teto	2	RPC025FP
<b>Sala 12</b>	21545	teto	2	RPC030FP
<b>Sala 13</b>	22035	teto	2	RPC030FP
<b>Sala 14</b>	16678	teto	2	RPC025FP
<b>Sala 15</b>	16646	teto	2	RPC025FP
<b>Sala 16</b>	21485	teto	2	RPC030FP
<b>Sala 17</b>	27046	teto	2	RPC040FP
<b>Sala 18</b>	23275	teto	2	RPC035FP
<b>Sala 19</b>	22307	teto	2	RPC030FP
<b>Sala 20</b>	27501	teto	2	RPC040FP

Os modelos citados foram extraídos do catálogo HITACHI, em [www.hitachiapb.com.br](http://www.hitachiapb.com.br).

## ANEXOS

## ANEXO A – PROPRIEDADES DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

Conforme citado no capítulo 4, os elementos construtivos utilizados no edifício são mostrados nas Tabelas A.1, A.2 e A.3.

Tabela A.1 – Propriedades dos elementos construtivos utilizados na edificação

Material	$k$	$\rho$	$C_p$	$\varepsilon$	$\alpha$ solar	$\alpha$ visível
Concreto leve	1.95	2240	900	0.9	0.7	0.7
Reboco	0.72	1856	840	0.9	0.5	0.7
Madeira	0.15	608	1630	0.9	0.5	0.5
Telha	0.58	1900	1000	0.9	0.3	0.3

Na Tabela A.1,  $k$  é a condutividade térmica, em W/m.K,  $\rho$  é a massa específica, em kg/m<sup>3</sup>,  $C_p$  é o calor específico, em J/kg.K,  $\varepsilon$  é a emissividade no infravermelho,  $\alpha$  solar é a absorptância de radiação solar do material,  $\alpha$  visível é a absorptância de radiação solar visível do material.

Tabela A.2 – Propriedades termofísicas dos vidros

Propriedade	Vidro 3mm	Persiana horizontal
$e$	3	1
$\tau$ solar	0.837	0
$\rho$ solar $f$	0.075	0.8
$\rho$ solar $b$	0.075	0.8
$\tau$ visível	0.898	0
$\rho$ visível $f$	0.081	0.8
$\rho$ visível $b$	0.081	0.8
$k$	0.9	0.9

Tabela A.3 – Propriedades termofísicas dos vidros com película

Propriedade	Película Silver 50	Película Silver 35	Película Bronze 20
$e$	3	3	3
$\tau$ solar	0.39	0.25	0.1
$\rho$ solar $f$	0.075	0.075	0.075
$\rho$ solar $b$	0.23	0.37	0.65
$\tau$ visível	0.53	0.34	0.19
$\rho$ visível $f$	0.081	0.081	0.081
$\rho$ visível $b$	0.22	0.36	0.38
$k$	0.9	0.9	0.9
$\varepsilon$ $f$	0.84	0.84	0.84
$\varepsilon$ $b$	0.77	0.73	0.73

Nas Tabelas A.2 e A.3,  $e$  é a espessura do vidro, em mm,  $\tau_{solar}$  é a transmitância solar para uma incidência normal de luz na superfície,  $\rho_{solar f}$  é a refletividade solar para uma incidência normal de luz na parte externa da superfície,  $\rho_{solar b}$  é a refletividade solar para uma incidência de luz na parte interna da superfície,  $\tau_{visível}$  é a transmitância visível para uma incidência normal de luz na superfície,  $\rho_{visível f}$  é a refletividade visível para uma incidência normal de luz na parte externa da superfície,  $\rho_{visível b}$  é a refletividade visível para uma incidência normal de luz na parte interna da superfície,  $k$  é a condutividade térmica, em W/m.k,  $\varepsilon f$  é a emissividade infravermelha na parte externa da superfície,  $\varepsilon b$  é a emissividade infravermelha na parte interna da superfície.