

DIEGO PIZZUTTI

ANÁLISE ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÃO COM USO DE PROTEÇÕES  
SOLARES

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  
2010



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

**ANÁLISE ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÃO COM USO DE PROTEÇÕES SOLARES**

**DIEGO PIZZUTTI**

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

Prof. Dr. Paulo Otto Beyer  
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

***BANCA EXAMINADORA:***

Prof. Dr. Bardo Ernst Bodmann  
UFRGS / DEMEC

Prof. Dra. Thamy Cristina Hayashi  
UFRGS / DEMEC

Prof. Dr. Sérgio Luiz Frey  
UFRGS / DEMEC

Porto Alegre  
2010



PIZZUTTI, D. **Análise Energética de Edificação com uso de Proteções Solares**. 2010. 19f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

## **RESUMO**

A crescente preocupação com o consumo energético de edificações faz com que engenheiros e arquitetos busquem alternativas para o uso racional das fontes de energia disponíveis. Com o auxílio do programa *EnergyPlus* simularam-se algumas opções para proteção solar de um prédio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. As alternativas propostas foram película para vidros, cortinas do tipo corta-luz de cor branca e persianas horizontais. Com o intuito de melhorar o consumo energético dessa edificação, testou-se o uso de controle do sistema de iluminação e a motorização de cortinas e persianas. A análise dos resultados mostrou que determinada película pode trazer redução de 9% no consumo energético anual e, somando o efeito do controle da potência de iluminação pode-se obter uma economia anual de 16%. Para o caso de cortinas que possuem sistema de abertura e fechamento automático a economia foi de 18%. O melhor resultado obtido foi para cortinas permanentemente fechadas, alcançando uma redução de 20% no consumo de energia anual em relação ao prédio sem proteções.

**PALAVRAS-CHAVES:** *EnergyPlus*, Cortinas, Consumo energético , Películas.

PIZZUTTI, D. **Analysis os Energy Comsumption in Buildings Utilising Solar Protection.** 2010. 19f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

## **ABSTRACT**

The growing concern of energy consumption in buildings is stimulating engineers and architects to explore alternatives to promote the racional use of available energy sources. Using the software EnergyPlus, various solar protection options were tested for a building at the Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS). The proposed alternatives were window protective film for glass, white “black-out” curtains and venetian blinds. With the aim of improving energy consumption of the building, ilumination control and automation of curtains and blinds was tested. The results analysis showed that certain protective film can reduce annual energy consumption by 9% and, toghether with the energy consumption control of lighting, an annual energy reduction of 16% can be obtained. In the case of curtains which have an automatic opening and closing mechanism, the energy reduction rate was 18%. The Best results obtained were for permanently closed Black-out curtains, which induced an annual energy consumption reduction of 20% in comparisson to a building with no solar protection.

**KEYWORDS:** *EnergyPlus*, Curtains, Energy consumption , Window protective film.

## 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
3.4 DIAS DE PROJETO .....	4
<b>4. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA</b> .....	<b>4</b>
4.1 EDIFÍCIO ORIGINAL .....	4
4.1.1 ELEMENTOS CONSTRUTIVOS .....	5
4.1.2 CARGAS TÉRMICAS INTERNAS .....	6
4.1.3 SISTEMA DE AR CONDICIONADO .....	6
4.2 EDIFÍCIO PROPOSTO .....	6
4.3 METODOLOGIA DAS SIMULAÇÕES .....	6
<b>5. ANÁLISES DOS RESULTADOS</b> .....	<b>8</b>
5.1 EDIFÍCIO MODELO .....	8
5.2 RESULTADOS OBTIDOS .....	9
<b>6. CONCLUSÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>13</b>
<b>APÊNDICES</b> .....	<b>14</b>
Apêndice A – Plantas baixa das zonas térmicas .....	14
Apêndice B – Cargas horárias de ocupação, iluminação e sistema de condicionamento .....	16
<b>ANEXO – PROPRIEDADES DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS</b> .....	<b>17</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Com a previsão de reforma para prédio da Engenharia Nova da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e instalação de um sistema de climatização, surgiu a preocupação com a aplicação de películas protetoras nas vidraças com o intuito de auxiliar na redução dos efeitos solares no interior da construção.

A Diretoria da Escola de Engenharia questionou sobre a influência das películas no consumo energético anual da edificação, sendo a motivação para o presente trabalho.

O objetivo deste trabalho é simular, com o auxílio do programa *EnergyPlus*, a utilização de películas, bem como, controle da potência das lâmpadas, instalação de cortinas corta-luz (caracterizadas pela forma espessa, cor branca, opaca, fabricada em PVC) e persianas com ou sem motorização, avaliando-se a influência no consumo energético do edifício. Além disso, é proposto combinar alternativas para melhorar os resultados.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Inúmeros trabalhos já foram realizados com o objetivo de se estimar o quanto as alterações nas características construtivas de uma edificação influenciam no seu desempenho térmico e energético. Para tanto, apresentam-se citações de alguns trabalhos que tratam do assunto e que utilizam o simulador *EnergyPlus* para obtenção dos resultados.

Pereira, 2005, comparou o sistema de controle automático da 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 ainda o tipo de película utilizada sobre vidro simples. Os resultados que obteve mostrou que tanto a orientação quanto o tipo de vidro utilizado na edificação alteram sensivelmente a potência instalada necessária para obtenção de conforto térmico.

Schwieder, 2004, comparou resultados de consumo elétrico anual e 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 comparativa, considerando no caso dos vidros com película o custo de instalação da película mais o custo de instalação do sistema de condicionamento de ar dimensionado para estes vidros com película, e considerou no caso dos vidros sem película o custo do sistema de condicionamento de ar dimensionado para estes vidros sem película, a economia do primeiro caso sobre o segundo seria de 31%. Considerou o caso em que os vidros com película fossem instalados na edificação com sistema de condicionamento de ar para atender o caso de vidros sem película (ou seja, tendo potência ociosa), a economia no consumo elétrico pagaria o custo da película após decorrerem oito anos.

Cipriano, (2003), analisou o consumo de energia elétrica de um ambiente climatizado em uma edificação localizada na cidade de Porto Alegre e comparou os resultados medidos e simulados através do software *EnergyPlus*, constatou que o mesmo é um software confiável para simulações termo-energéticas.

Grings (2003) e Beyer e Grings (2004), analisaram o programa *EnergyPlus*, para condições climáticas da cidade de Porto Alegre, observando uma boa concordância entre os resultados simulados pelo programa e medidos experimentalmente. Além disso observaram que os resultados para as diferenças de temperatura foram melhores que aqueles obtidos através do programa BLAST (predecessor do *EnergyPlus*). Concluíram que o *EnergyPlus* apresenta resultados confiáveis em simulações realizadas em edificações "termicamente pesadas" e sugeriram para futuros trabalhos a análise da simulação para edificações leves e

médias, além da comparação de resultados computacionais e experimentais para outros tipos de climas brasileiros (outras cidades).

### 3. ENERGYPLUS

No presente capítulo são apresentados os métodos utilizados pelo programa *EnergyPlus* para o cálculo da carga térmica e o consumo energético de uma edificação.

A forma de calculo utilizada pelo programa simulador 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 usando as funções de transferência por condução, convecção e radiação. O programa permite ao usuário fazer ajustes dos intervalos de tempo, inserção de um arquivo climático, controle de iluminação, seleção do sistema de climatização dentre outras possibilidades.

#### 3.1 BALANÇO ENERGÉTICO DAS ZONAS TÉRMICAS

Conforme o manual do *EnergyPlus* [EnergyPlus Manual, 2010]:, uma zona térmica é um volume de ar a 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:

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

onde  $C_Z \frac{dT_Z}{dt}$  é a taxa de acumulo de energia no volume de ar da zona térmica,  $\sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i$  é a soma das cargas internas convectivas,  $\sum_{i=1}^{N_{superficies}} h_i A_i (T_{si} - T_Z)$  é a transferência de calor por convecção das superfícies da zona térmica,  $\sum_{i=1}^{N_{zonas}} \dot{m}_i c_p (T_{zi} - T_Z)$  é o somatório das taxas de calor por troca de ar com outras zonas,  $\dot{m}_{inf} c_p (T_{\infty} - T_Z)$  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, todos os termos da equação são estimados em Watt.

#### 3.2 BALANÇO ENERGÉTICO NAS SUPERFÍCIES

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

Parede externa

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

onde  $q''_{asol}$  é o fluxo de radiação solar difusa e direta absorvida [W/m],  $q''_{lwr}$  é o fluxo de radiação de onda longa trocada entre a superfície e seu entorno [W/m<sup>2</sup>],  $q''_c$  é o fluxo convectivo trocado pela superfície com ar [W/m<sup>2</sup>],  $q''_{ko}$  é o 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  $q''_{lwx}$  é o fluxo de radiação de onda longa trocada entre as superfícies da zona [W/m],  $q''_{sw}$  é o fluxo de radiação das ondas curta das luzes para a superfície [W/m<sup>2</sup>],  $q''_{lws}$  é o fluxo de radiação de onda longa dos equipamentos da zona para a superfície [W/m<sup>2</sup>],  $q''_{ki}$  é o fluxo de calor condutivo para o interior através da parede [W/m<sup>2</sup>],  $q''_{sol}$  é o 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  $h_n$  é o coeficiente de transferência de calor por convecção natural,  $R_f$  é a rugosidade da superfície,  $a$  e  $b$  são constantes e  $V_z$  é a velocidade do vento. Para o coeficiente de convecção natural é usado a seguinte correlação:

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

Onde:  $c$  e  $d$  são constantes,  $\Delta T$  é a diferença de temperatura do ar na superfície e  $\Sigma$  é o 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, 2010]:

$$q''_{ki}(t) = -Z_0 T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Z_j T_{i,t-j\delta} + Y_0 T_{0,t} + \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{0,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q_{ki,t-j\delta} \quad (6)$$

e para o fluxo de calor externo;

$$q''_{k0}(t) = -Y_0 T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{i,t-j\delta} + X_0 T_{0,t} + \sum_{j=1}^{nz} X_j T_{0,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q_{ki,t-j\delta} \quad (7)$$

onde  $q''_{ki}(t)$  é o fluxo de calor condutivo para o interior, na face interna da parede [W/m],  $q''_{k0}(t)$  é o fluxo de calor condutivo do exterior, na face externa da parede [W/m],  $X_j$  é o coeficiente de fator de resposta externo da CTF,  $Y_j$  é o coeficiente de fator de resposta transversal da CTF,  $Z_j$  é o coeficiente de fator de resposta interno da CTF,  $\Phi_j$  é o coeficiente de fator de resposta de fluxo da CTF,  $T_i$  é a temperatura da face interna da parede [K],  $T_0$  é a temperatura da face externa da parede [K].

### 3.3 ARQUIVO CLIMÁTICO

O arquivo climático é desenvolvido com base em dados climáticos adquiridos em um período superior a dez anos e utiliza os doze meses que melhor representam o clima do local. O arquivo contém dados meteorológicos de temperatura, umidade, pressão, radiação solar, direção e velocidade do vento de cada localização geográfica na forma de ano climático TRY (*Test Reference Year*).

### 3.4 DIAS DE PROJETO

Para o dimensionamento do sistema de ar-condicionado (aquecimento, ventilação e resfriamento) são utilizados dados estatísticos definidos pela ASHRAE [2007], que definem os dias em que o sistema necessita maior potência para resfriamento e aquecimento. Os meses de janeiro e julho foram os meses escolhidos por serem os meses mais representativos tendo as médias de temperatura de verão e inverno maiores. Isto garante que o sistema de ar-condicionado não consiga manter a temperatura de projeto do ambiente em no máximo 0,4% das horas totais do ano fazendo com que o sistema tenha um bom rendimento.

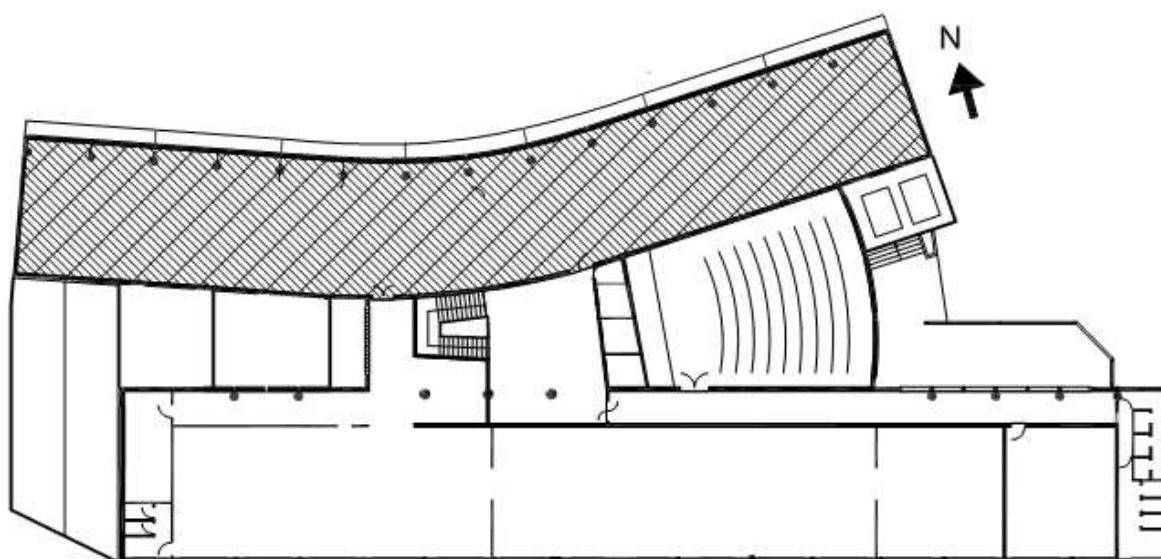
## 4. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

O excesso da incidência de luz solar na fachada norte do prédio da Engenharia Nova gerou a preocupação pela utilização de proteção para as janelas, reduzindo a incidência dos raios solares e consumo energético do edifício.

Foram simuladas as opções películas, cortinas do tipo corta-luz, persianas, automatização das lâmpadas e motorização das cortinas e persianas para uma análise prévia dos consumos energéticos. Após, foram geradas diversas combinações com o propósito de se encontrar as melhores soluções em termos de economia de energia.

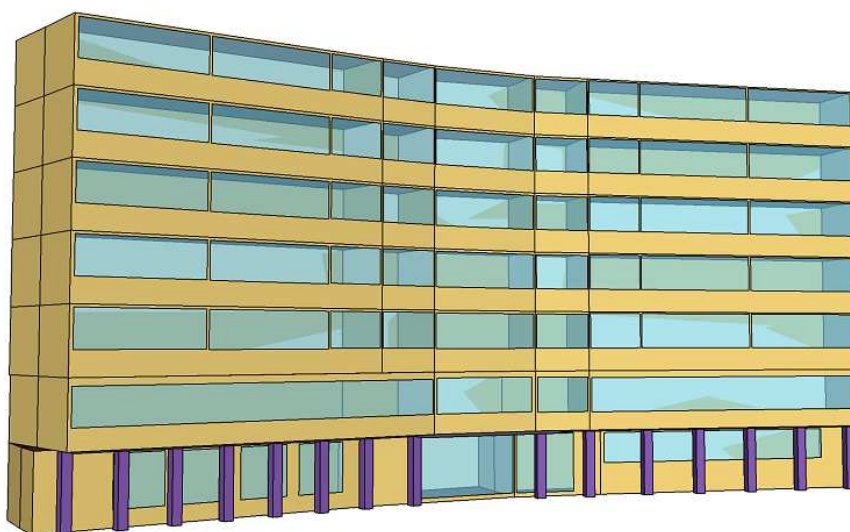
### 4.1 EDIFÍCIO ORIGINAL

Tomou-se como modelo para análise do consumo energético o bloco frontal do edifício da Engenharia Nova, conforme Figura 4.1. O prédio é composto por sete pavimentos, cinquenta e quatro zonas climáticas, com sua disposição conforme plantas baixas no Apêndice A, possuindo 492 m<sup>2</sup> de área por pavimento, 1760 m<sup>2</sup> de área de fachada, sendo 60% janelas, conforme Figura 4.2. Possui limitações arquitetônicas por ser um prédio histórico, não sendo permitidas alterações na fachada. Para as simulações adotou-se um sistema de ar condicionado do tipo VRV/VRF (Vazão ou Fluxo de Refrigerante Variável).



A Figura 4.1 – Planta baixa do prédio da Engenharia Nova.

A área mais escura da Figura 4.1 corresponde ao bloco frontal do prédio da Engenharia Nova.



A Figura 4.2 – Modelo do edifício da Engenharia Nova.

Modelo construído com auxílio do programa de distribuição livre *Google SketchUp*.

#### 4.1.1 ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

Neste item, são descritos os materiais utilizados na composição dos elementos construtivos.

As paredes externas e internas pesadas são compostas de tijolo maciço (250 mm) com reboco em ambos os lados (25 mm cada). As paredes internas leves são compostas de gesso acartonado (100 mm). A laje de cobertura possui concreto pesado (150 mm) e isolamento térmico. O piso do térreo possui 300 mm de tijolo maciço mais 200 mm de concreto pesado. A composição dos entre-pisos é 150 mm de concreto pesado. Os vidros externos são claros com espessura de 3 mm. As propriedades dos elementos construtivos são detalhadas no Anexo A.

#### 4.1.2 CARGAS TÉRMICAS INTERNAS

Cargas térmicas internas são taxas de calor liberadas no interior do ambiente, destacando-se pessoas, lâmpadas e equipamentos elétricos.

A ocupação de pessoas possui uma densidade média de 0,13 pessoas/m<sup>2</sup> considerando as cargas horárias de ocupação de escritório. Cada pessoa dissipa 130 W com fração radiante de 50%. As cargas horárias de ocupação podem ser vistas no Apêndice B. O sistema de iluminação possui uma taxa média de dissipação de calor de 20 W/m<sup>2</sup> exceto salão de entrada onde se considerou 15 W/m<sup>2</sup>. A fração radiante é 42% e a fração visível 18%. As cargas horárias de iluminação podem ser vistas no Apêndice B.

No caso dos equipamentos elétricos considerou-se uma taxa de dissipação de calor de 21,5 W/m<sup>2</sup> exceto para o salão de entrada onde se considerou 10 W/m<sup>2</sup>. A fração radiante para ambos é de 30%. As cargas horárias de equipamentos seguem o mesmo padrão das cargas horárias de ocupação interna. Todos os dados de ocupação foram feitos baseando-se em informações do manual ASHRAE para cargas horárias [ASHRAE, 2007]

#### 4.1.3 SISTEMA DE AR CONDICIONADO

O sistema de ar-condicionado selecionado para as simulações é do tipo VRV/VRF (Vazão ou Fluxo de Refrigerante Variável). São sistemas modernos e eficientes, semelhantes aos tradicionais *split*, porém para uma unidade externa (condensador) podem existir várias unidades internas (evaporador). O compressor varia o fluxo de fluido refrigerante de cada evaporador, de acordo com a carga térmica que o aparelho deve atender. No caso de aquecimento, o sistema inverte o sentido de trabalho, funcionando no chamado ciclo reverso.

A programação de funcionamento do sistema de condicionamento de ar é das 6 h às 22h para dias de semana, das 6 h às 18 h nos sábados, domingos e feriados o sistema é desligado. A temperatura programada para o verão é 25°C e para o inverno é 22°C. A taxa de renovação de ar foi ajustada para fazer duas trocas por hora.

#### 4.2 EDIFÍCIO PROPOSTO

Como proposta de melhoramento do consumo energético do edifício modelo, foi feita a simulação utilizando seis modelos de películas protetoras, persianas horizontais e cortinas do tipo corta-luz. Para complementação foram considerados o controle de potência das lâmpadas e a motorização das cortinas e persianas.

As películas recebem a nomenclatura poly por serem fabricadas em poliéster e a numeração utilizada se refere. Demais dados sobre as propriedades das películas podem ser observados no Anexo A.

Os elementos construtivos, cargas térmicas internas e sistema de ar-condicionado do edifício proposto possuem as mesmas configurações do edifício original.

#### 4.3 METODOLOGIA DAS SIMULAÇÕES

Para analisar o comportamento das alternativas propostas, foi realizada a primeira etapa de simulações do modelo alterando apenas um item a cada simulação. Os resultados em termos de consumo energético podem ser vistos na Tabela 4.1.

Tabela 4.1. Primeira etapa de simulação.

Alternativas Simuladas - 1ª Etapa	Consumo Total [kWh/ano]	Consumo em relação ao modelo
<b>Edifício Original</b>	<b>532282</b>	<b>100%</b>
Cortina -100% fechado	478081	90%
Película poly44	484282	91%
Película poly55	489793	92%
Cortina - 50% fechado	504293	95%
Película poly33	504923	95%
Película poly66	514587	97%
Película poly77	518849	97%
Persiana- 100% fechada	526478	99%
Persiana – 50% fechada	528659	99%
Película poly88	525206	99%

Observando a Tabela 4.1 pode-se verificar que a opção de cortina sempre fechada é a que tem o menor consumo energético.

Na etapa seguinte, foi feita a simulação o modelo com e sem película, conforme Tabela 4.2, acoplando o sistema de controle de potência das lâmpadas que utiliza um sensor regulado para 500 lux, no interior do ambiente, localizado a 80 cm de altura do piso. Na mesma etapa, foi feita a simulação do modelo utilizando a motorização para abertura e fechamento das cortinas corta-luz e persianas. O controle para o funcionamento da motorização foi ajustado de duas maneiras, 300 W/m<sup>2</sup> ou 500 W/m<sup>2</sup> com sensores instalados na fachada do prédio, fechando as proteções no momento em que a potência por unidade de área alcance esses valores.

Tabela 4.2. Segunda etapa de simulação.

Alternativas Simuladas - 2ª Etapa	Consumo Total [kWh/ano]	Consumo em relação ao modelo
Película poly33 + Cont. Lamp	449289	84%
Película poly44 + Cont. Lamp	451705	85%
Película poly55 + Cont. Lamp	454641	85%
Película poly66 + Cont. Lamp	457933	86%
Película poly77 + Cont. Lamp	461972	87%
Película poly88 + Cont. Lamp	468121	88%
Modelo-Cont. Lamp	475164	89%
Cortina-300W/m <sup>2</sup>	494254	93%
Cortina-500W/m <sup>2</sup>	509641	96%
Persiana-300W/m <sup>2</sup>	531082	100%
Persiana-500W/m <sup>2</sup>	535730	101%

Tabela 4.3. Terceira etapa de simulação.

Alternativas Simuladas - 3ª Etapa	Consumo Total [kWh/ano]	Consumo em relação ao modelo
Cont. Lamp.+Cortina-fechada	428433	80%
Cont. Lamp.+Cortina-300W/m <sup>2</sup>	437986	82%
Cont. Lamp.+Cortina-500W/m <sup>2</sup>	452969	85%
Película Poly33+Cont. Lamp.+Cortina-fechada	458361	86%
Película Poly44+Cont. Lamp.+Cortina-300W/m <sup>2</sup>	457592	86%
Película Poly55+Cont. Lamp.+Cortina-300W/m <sup>2</sup>	456702	86%
Película Poly33+Cont. Lamp.+Pers.-fechada	464668	87%
Película Poly44+Cont. Lamp.+Pers.-300W/m <sup>2</sup>	465720	87%
Película Poly55+Cont. Lamp.+Cortina-fechada	468224	88%
Película Poly55+Cont. Lamp.+Pers.-300W/m <sup>2</sup>	466839	88%
Cont. Lamp.+Pers.-300W/m <sup>2</sup>	473983	89%
Película Poly33+Cont. Lamp.+Pers.-300W/m <sup>2</sup>	476193	89%
Película Poly44+Cont. Lamp.+Cortina-fechada	472520	89%
Cont. Lamp.+Pers.-500W/m <sup>2</sup>	478496	90%
Cont. Lamp.+Pers.-fechada	478029	90%
Película Poly55+Cont. Lamp.+Pers.-fechada	480255	90%
Película Poly44+Cont. Lamp.+Pers.-fechada	482552	91%

Analisando-se os resultados da primeira e segunda etapas, Foram agrupadas alternativas que obtiveram melhores resultados, gerando a terceira etapa de simulação, Tabela 4.3.

## 5. ANÁLISES DOS RESULTADOS

### 5.1 EDIFÍCIO MODELO

Os resultados do consumo energético anual do edifício, em kW.h, podem ser vistos na Figura 5.1. Lembrando que o consumo do sistema de ar-condicionado corresponde à soma dos consumos de aquecimento, ventilação e resfriamento. O consumo da edificação é a soma dos consumos de equipamentos internos e iluminação interna. O consumo total corresponde à soma dos consumos da edificação e do sistema de ar-condicionado.

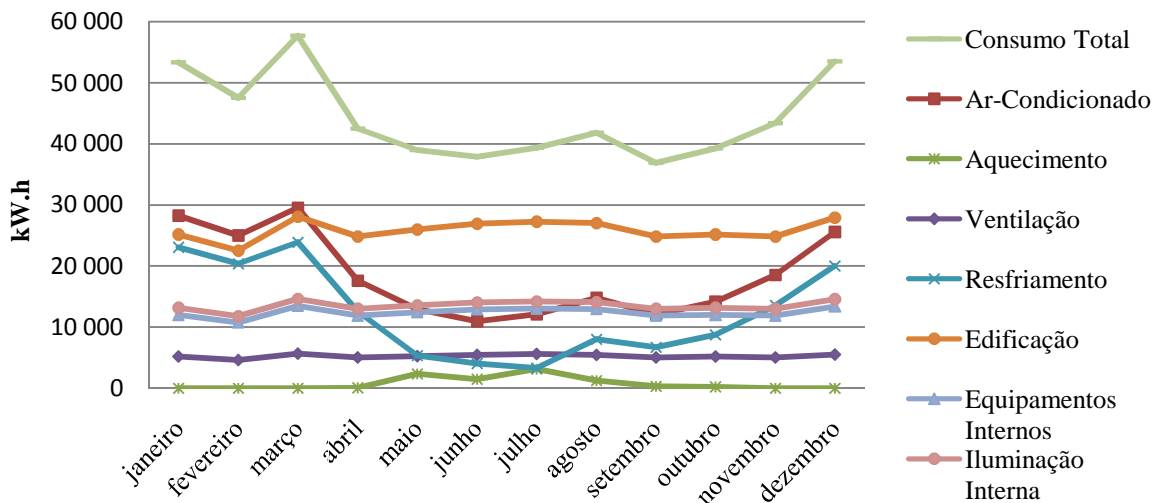


Figura 5.1 – Corresponde ao consumo energético anual do edifício original.

Pode ser observado, na Figura 5.1, que o ar-condicionado é o maior responsável pelo consumo elétrico nos meses de dezembro a março (resfriamento). Nos meses de abril a outubro o consumo elétrico devido ao aquecimento sofre uma pequena elevação, mas os itens de maior consumo são os equipamentos e iluminação internos. A seguir a representação em termos percentuais dos fatores que compõem o consumo total da edificação, Figura 5.2.

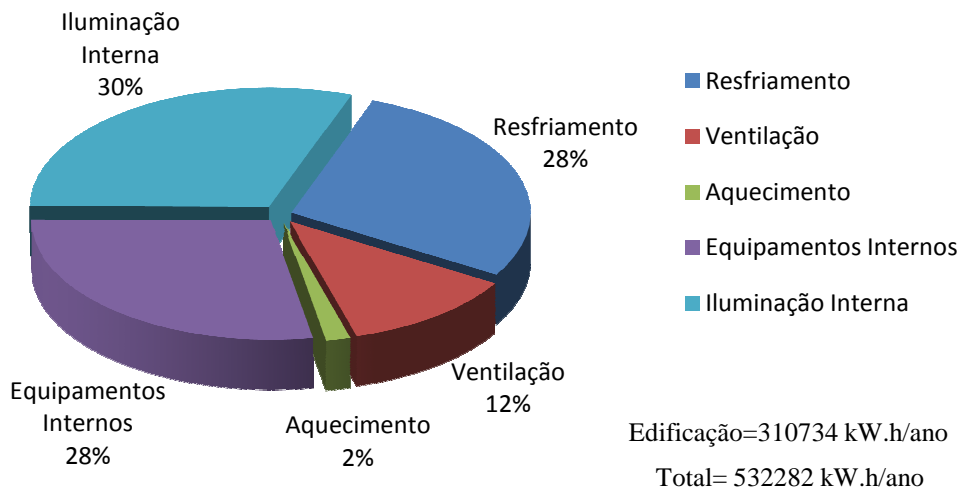


Figura 5.2 – Percentual de cada fator no consumo total de energia para o edifício original

Verifica-se, através da Figura 5.2, que o consumo total anual do edifício modelo é de 532282 kW.h/ano. O item que apresenta maior consumo energético é o ar-condicionado (aquecimento, ventilação e resfriamento), seguido pelo consumo da iluminação interna.

### 5.2 RESULTADOS OBTIDOS

Tem-se como as opções de melhor desempenho energético geral os itens 1 e 2, e para efeito de comparação selecionou-se dois tipos de películas conforme relação abaixo:

1. Controle das lâmpadas e cortina corta-luz fechada por tempo integral;
2. Controle das lâmpadas e cortina corta-luz motorizada a 300 W/m<sup>2</sup>;
3. Película poly33 e controle das lâmpadas;
4. Película poly44.

Apesar de apresentar o melhor resultado em termos de consumo energético, a opção número 1 mostra-se inadequada pelo motivo das cortinas estarem fechadas permanentemente, por isso, a alternativa de número 2 é a solução ótima do ponto de vista da redução do consumo de energia. Como o propósito inicial é obter resultados sobre a aplicação de películas, selecionou-se duas alternativas indicadas pelos itens de 3 e 4, porém, nem tão eficientes quanto as de número 1 e 2. Na Tabela 5.1 a seguir podemos comparar o consumo energético total do edifício original.

Tabela 5.1. Comparação entre os consumos do edifício original e das edificações propostas.

Item	Modelo	Controle de Lâmpadas+ Cortina	Controle de Lâmpadas+ Cortina Motorizada-300W	Controle de Lâmpadas+ Película Poly33	Película Poly44
Ar-condicionado	221549	156300	170982	181593	173548
Aquecimento	8815	14887	11897	11634	9991
Ventilação	63067	45136	46124	54375	47829
Resfriamento	149667	96277	112960	115584	115729
Edificação	310734	272133	267004	267695	310734
Equipamentos Internos	148586	148586	148586	148586	148586
Iluminação interna	162148	123547	118418	119109	162148
Consumo total kW.h/ano	<b>532282</b>	<b>428433</b>	<b>437986</b>	<b>449289</b>	<b>484282</b>
Economia Anual		<b>20%</b>	<b>18%</b>	<b>16%</b>	<b>9%</b>

As cortinas corta-luz, apesar de estarem fechadas, possuíam uma distância de 5cm em relação a parede permitindo a entrada de luminosidade no ambiente, acionando o sistema de automação das lâmpadas e por sua vez influenciando na redução do consumo de energia. Na Tabela 5.1 podemos ver a porcentagem de redução do consumo energético em relação ao edifício modelo. A Figura 5.3 mostra a comparação entre o consumo mensal do modelo em comparação com as quatro alternativas de melhor desempenho.



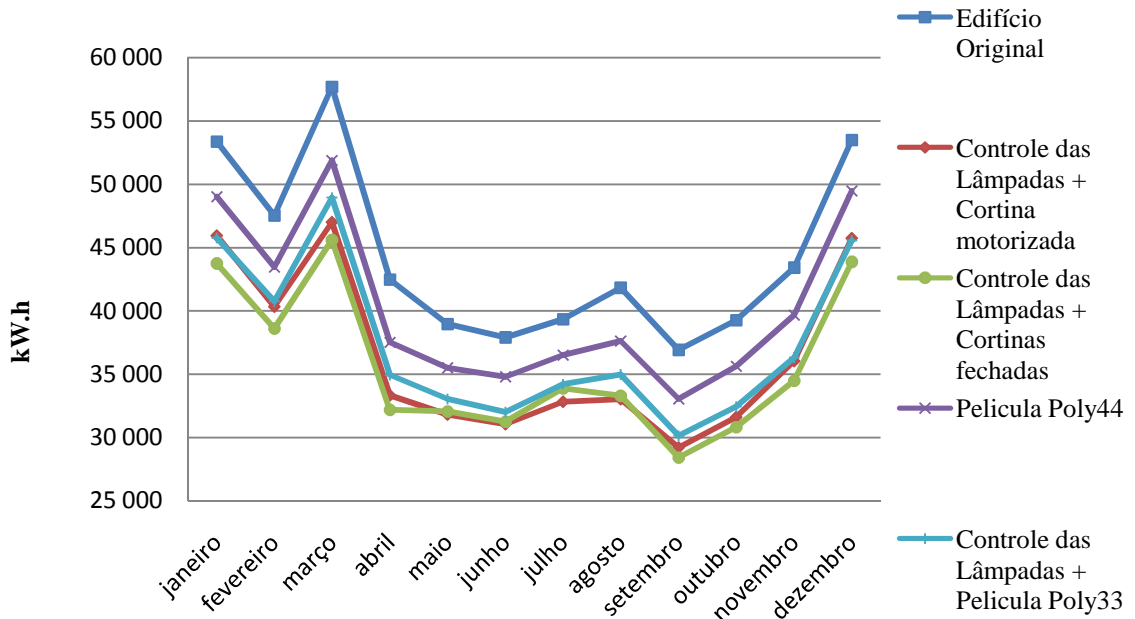


Figura 5.3 – Comparação entre o consumo mensal das edificações.

Na Figura 5.3, tem-se que os picos de consumo se dão entre os meses de dezembro a março devido à utilização do sistema de ar-condicionado (refrigeração). A Figura 5.4 a seguir faz a comparação gráfica do consumo energético anual para o modelo em comparação com as quatro propostas seleccionadas.

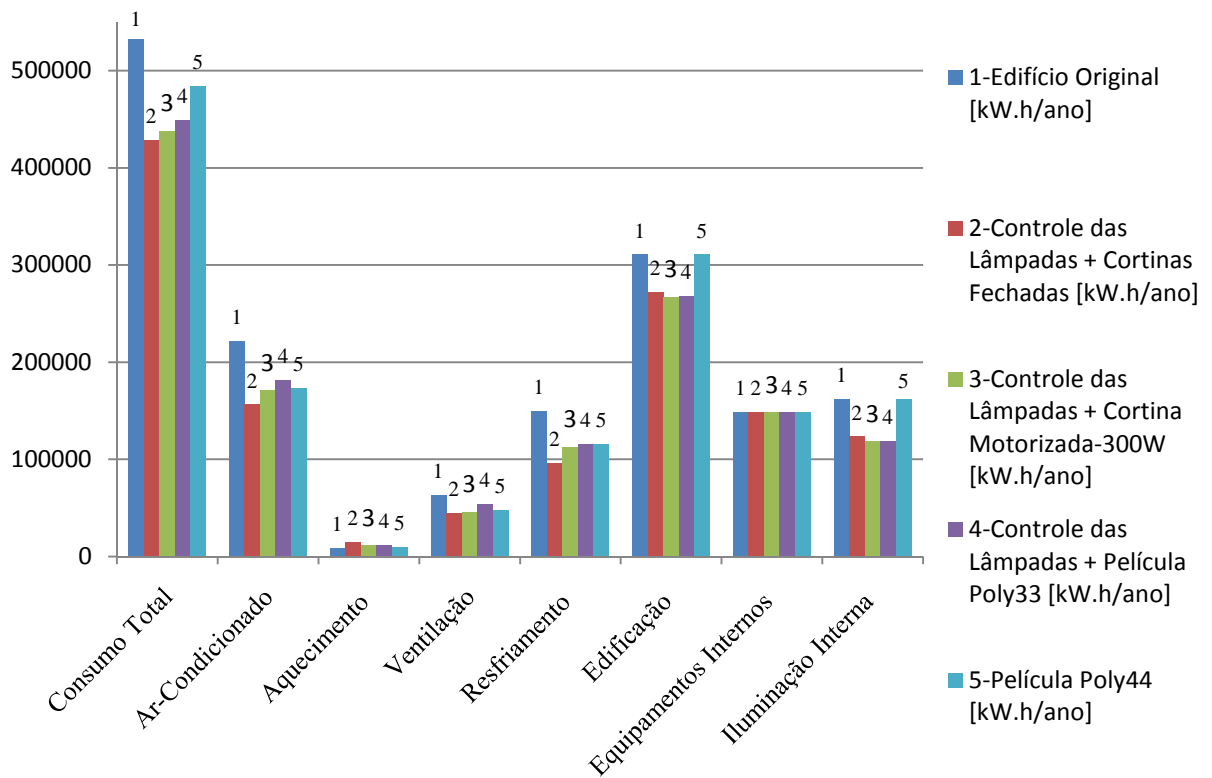


Figura 5.4 – Consumo anual da edificação.

Analisando-se a Figura 5.4, nota-se que o aquecimento teve um acréscimo de consumo nas quatro alternativas propostas, sendo justificado pelo menor ganho de calor solar através das janelas nos meses de inverno, fazendo o sistema de ar-condicionado (aquecimento) utilizar maior potência para manter a temperatura ideal. Nota-se que o consumo anual de energia elétrica dos equipamentos internos é idêntico visto que uma mesma potência instalada foi considerada em todas as simulações.

## 6. CONCLUSÃO

Realizadas as simulações com as alternativas para a redução do consumo energético, foi analisado o percentual de redução de energia obtido pelas mudanças em comparação ao edifício original e selecionado três opções mais representativas. As opções selecionadas foram cortinas do tipo corta-luz com sistema de controle das lâmpadas, película poly33 com sistema de controle das lâmpadas e película poly44.

A combinação do controle de potência das lâmpadas com cortinas do tipo corta-luz motorizadas teve uma redução 18% do consumo energético total anual do edifício, porém é a opção que necessita maiores investimentos para instalação e manutenção.

Utilizando o controle de potência das lâmpadas e a película poly33 chegou-se a uma redução de 16% em relação ao edifício original e de maior simplicidade de instalação se comparada à primeira alternativa.

Aplicando apenas as películas poly44 nos vidros do edifício, chegou-se a uma economia de energia de 9% em relação ao edifício original, sendo essa a opção a que necessita menor investimento para a sua instalação.

As três formas de proteção tiveram bons resultados para a redução do consumo energético anual do edifício cabendo a diretoria da Escola de Engenharia da UFRGS optar pela opção mais propícia.

## REFERÊNCIAS

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.

ENERGYPLUS. *EnergyPlus Input and Output Reference – The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output*, Version 5.0., Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, USA, 2010.

ENERGYPLUS. Software. Disponível em <http://www.energyplus.gov>. Acesso em 12/05/2010.

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 película 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.

CIPRIANO, C. J., 2003. “**Simulação termoenergética de um sistema de ar condicionado para comparação dos resultados medidos e simulados**”, Monografia de Graduação em Engenharia. UFRGS/DEMEC, Porto Alegre, Brasil.

BEYER, P.O, GRINGS, E. T. O., 2004. “**Medição e simulação da carga térmica de ar condicionado de um ambiente**”, Proc. of the 10 Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering – ENCIT, Nov. 29 - Dec. 03, Rio de Janeiro, Brasil.

## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

BEYER, P. O..**Refrigeração**. Apostila, Departamento de Engenharia Mecânica, DEMEC/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 BAIXA DAS ZONAS TÉRMICAS.

Conforme citado no capítulo 4 e 5, as plantas baixas do edifício são apresentadas nas Figuras A.1, A.2 e A.3. As zonas T-3 e T-7 não são condicionadas.

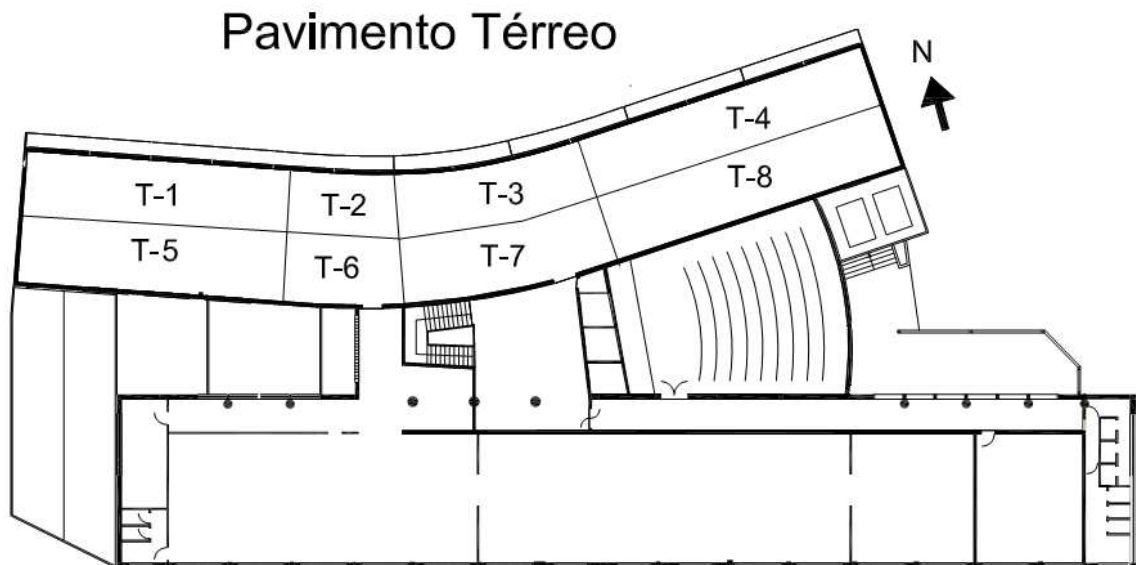


Figura A.1 – Planta baixa do pavimento térreo com as 8 zonas térmicas.

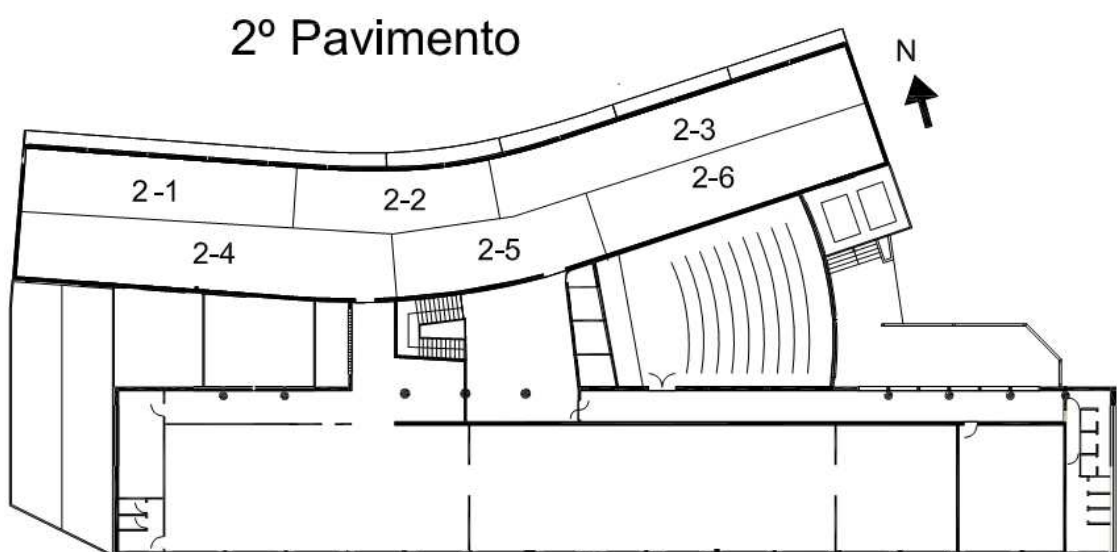


Figura A.2 – Planta baixa do segundo pavimento térreo com as 6 zonas térmicas.

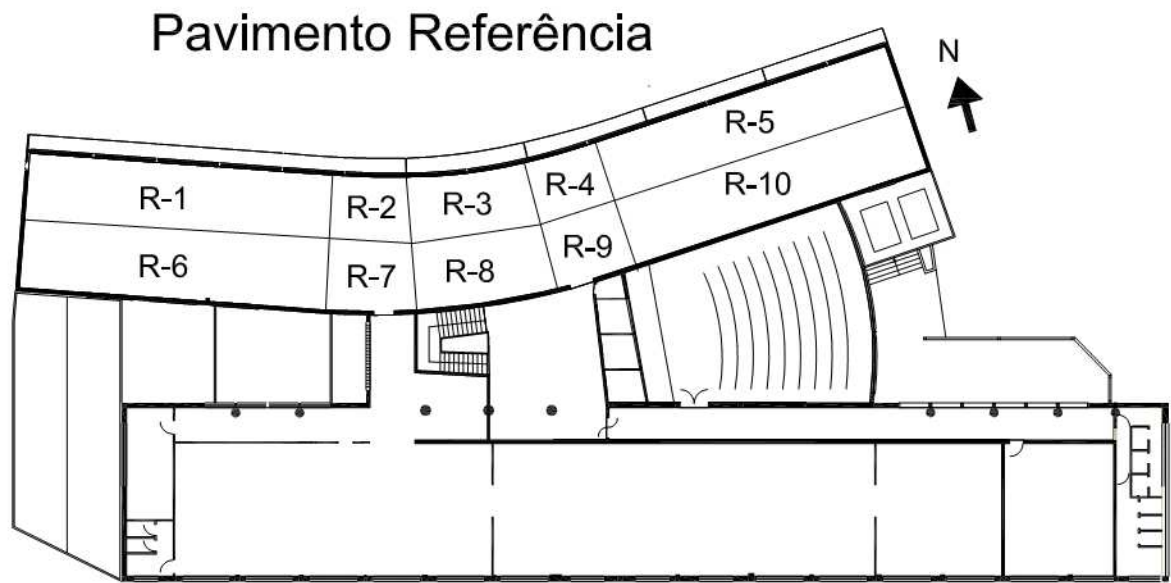


Figura A.1 – Planta baixa do pavimento referência, zoneamento referência para os demais pavimentos.

## APÊNDICE B – CARGAS HORÁRIAS DE OCUPAÇÃO, ILUMINAÇÃO E SISTEMA DE CONDICIONAMENTO.

Conforme citado nos capítulos 4 e 5, as cargas de ocupação interna, sistema de climatização e iluminação são mostradas nas Tabelas B.1, B.2 e B.3.

Tabela B.1 – Carga horária da ocupação interna.

Período	Dias da semana	Sábado	Domingo e feriado
00:00 às 06:00	0%	0%	0%
06:00 às 07:00	10%	10%	0%
07:00 às 08:00	20%	10%	0%
08:00 às 12:00	95%	30%	0%
12:00 às 13:00	5%	10%	0%
13:00 às 17:00	95%	10%	0%
17:00 às 18:00	30%	5%	0%
18:00 às 22:00	10%	5%	0%
22:00 às 24:00	5%	0%	0%

Tabela B.2 – Carga horária do funcionamento do sistema de climatização.

Período	Dias da semana	Sábado	Domingo e feriado
00:00 às 06:00	0%	0%	0%
06:00 às 12:00	100%	100%	0%
12:00 às 18:00	100%	100%	0%
18:00 às 22:00	100%	0%	0%
22:00 às 24:00	0%	0%	0%

Tabela B.3 – Carga horária de iluminação

Período	Dias da semana	Sábado	Domingo e feriado
00:00 às 05:00	5%	5%	5%
05:00 às 07:00	10%	10%	5%
07:00 às 08:00	30%	10%	5%
08:00 às 17:00	90%	15%	5%
17:00 às 18:00	50%	10%	5%
18:00 às 20:00	30%	5%	5%
20:00 às 22:00	20%	5%	5%
22:00 às 23:00	10%	2%	5%
23:00 às 24:00	5%	2%	5%

## ANEXO – PROPRIEDADES DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

Neste anexo são detalhados os materiais utilizados no edifício, conforme citado no capítulo 4 e 5. Os valores apresentados nas Tabelas foram extraídos do Manual *EnergyPlus*, 2010.

Tabela A.1 – Propriedades dos elementos construtivos utilizados no edifício

Material	$k$	$P$	$c_p$	$\varepsilon$	$\alpha_{solar}$	$\alpha_{visível}$
Tijolo Maciço	1,9	1760	800	0,9	0,7	0,7
Reboco	0,72	1856	840	0,9	0,5	0,5
Concreto Pesado para Piso	1,95	2240	900	0,9	0,7	0,7
Parquet	0,15	608	1630	0,9	0,5	0,5
Gesso Acartonado	0,58	800	1090	0,9	0,7	0,7
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 térmica,  $\alpha_{solar}$  é a absorptância solar do material,  $\alpha_{visível}$  é a absorptância visível do material.

Tabela A.2 – Propriedades termofísicas dos vidros

Propriedade Termofísica	Vidro 3mm	Cortina tipo <i>Blackout</i>	Persiana Horizontal
$e$	3	5	1
$\tau_{solar, \perp}$	0,837	0,1	0
$\rho_{solar f, \perp}$	0,075	0,8	0,8
$\rho_{solar b, \perp}$	0,075	N	0,8
$\tau_{visível, \perp}$	0,898	0,1	0
$\rho_{visível f, \perp}$	0,081	0,8	0,8
$\rho_{visível b, \perp}$	0,081	N	0,8
$k$	0,9	0,1	0,9

Tabela A.3 – Propriedades termofísicas das películas.

Propriedade Termofísica	Película Poly88	Película Poly77	Película Poly66	Película Poly55	Película Poly44	Película Poly33
$e$	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
$\tau_{solar, \perp}$	0,656	0,504	0,403	0,32	0,245	0,178
$\rho_{solar f, \perp}$	0,249	0,402	0,514	0,582	0,626	0,739
$\rho_{solar b, \perp}$	0,227	0,398	0,515	0,593	0,641	0,738
$\tau_{visível, \perp}$	0.868	0,766	0,658	0,551	0,439	0,33
$\rho_{visível f, \perp}$	0.064	0.147	0.256	0.336	0.397	0.566
$\rho_{visível b, \perp}$	0,06	0,167	0,279	0,375	0,453	0,591
$k$	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
$\varepsilon f$	0,136	0,75	0,057	0,046	0,037	0,035
$\varepsilon b$	0,72	,072	0,72	0,72	0,72	0,72

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