

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PROJETO DO ENVOLTÓRIO DE UM PRÉDIO COM ENERGIA LÍQUIDA ZERO (PELZ)

por

Eduardo Marocco de Siqueira

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.

Porto Alegre, 18 de Novembro de 2011.



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

PROJETO DO ENVOLTÓRIO DE UM PRÉDIO COM ENERGIA LÍQUIDA ZERO (PELZ)  
por

Eduardo Marocco de Siqueira

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

Prof. Dr. Arnaldo Ruben Gonzalez  
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: **Ciências Térmicas**

Orientador: Prof. Dr. Paulo Otto Beyer

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr. Sérgio Viçosa Möller

Prof. Dr. Jorge Rodolfo Silva Zabadal

Prof. Dr. Sérgio Luiz Frey

Porto Alegre, 18 de Novembro de 2011.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha família e amigos pelo apoio nos momentos mais difíceis, sem eles não seria possível estar aqui.

Ao Professor Paulo Otto Beyer, por estar sempre disposto a esclarecer as dúvidas.

A todos que de alguma forma tornaram possível a conclusão deste curso.

“Todo homem que se eleva acima do nível comum teve duas educações. A primeira de seus professores e a segunda, a mais importante, de si mesmo.”

*Edward Gibbon*

SIQUEIRA, E. M. **Projeto do envoltório de um prédio com energia líquida zero (PELZ)**. 2011. 18f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

## **RESUMO**

Este trabalho tem como objetivo projetar o envoltório de um prédio com energia líquida zero (PELZ), ou seja, parâmetros como paredes, forro, janelas e outros fatores como ventilação natural e Iluminação natural, minimizando ou zerando o consumo energético anual e também garantindo o conforto térmico e lumínico dos ocupantes. Para a modelagem geométrica da edificação foi utilizado o *software Google Sketchup* e para a simulação dos diversos parâmetros dessa edificação foi utilizado o *software EnergyPlus*. Os resultados mostraram que a constituição de envoltório mais adequada para a edificação foi: paredes e forro com isolamento térmico, vidros duplos com baixa transmitância solar e alta transmitância visível e utilização de prateleiras de luz para melhor homogeneização da iluminação natural dentro dos ambientes. Nesta constituição de envoltório, a edificação está de acordo com a norma ASHRAE 90.1, com 182 horas de desconforto térmico.

**PALAVRAS-CHAVE:** *EnergyPlus*, PELZ, Envoltório.

SIQUEIRA, E. M. **Design of the envelope of a Net Zero Energy Building (NZEB)**. 2011. 18f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

## **ABSTRACT**

This work aims to design the envelope of a Net Zero Energy Building (NZEB), ie, parameters as walls, roof, windows and other factors such as natural ventilation and daylighting, minimizing or zeroing the annual energy consumption and also ensuring the thermal and luminous comfort of occupants. For geometric modeling the software *Google Sketchup* was used and for the simulation of the various parameters of this building the software *EnergyPlus* was used. The results showed that the most appropriate constitution of the envelope for the building was: walls and roof with thermal insulation, double glazing with low solar transmittance and high visible transmittance and use of light-shelves for better homogenization of daylighting inside the building. In this envelope constitution, the building is consistent with the ASHRAE 90.1 standard, with 182 hours of thermal discomfort.

**KEYWORDS:** *EnergyPlus*, NZEB, Envelope.

## ÍNDICE

	Pág.
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 Definição de PELZ .....	1
1.2 Justificativa .....	1
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>2</b>
<b>3. OBJETIVO</b> .....	<b>3</b>
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	<b>3</b>
4.1 O programa <i>EnergyPlus</i> .....	4
4.2 Metodologia de cálculo do programa <i>EnergyPlus</i> .....	4
4.2.1 Balanço de energia na superfície externa das paredes externas .....	5
4.2.2 Balanço de energia na superfície interna das paredes externas .....	5
4.2.3 Ventilação natural .....	5
4.2.4 Arquivo climático .....	6
<b>5. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA</b> .....	<b>6</b>
5.1 Descrição da edificação .....	6
5.2 Ventilação cruzada .....	7
5.3 Ventilação por efeito chaminé .....	8
5.4 Controle de abertura das janelas .....	8
5.5 Iluminação natural .....	8
5.6 Cargas térmicas internas .....	9
5.6.1 Equipamentos .....	9
5.6.2 Lâmpadas .....	9
5.6.3 Pessoas .....	10
<b>6. METODOLOGIA DAS SIMULAÇÕES</b> .....	<b>10</b>
6.1 Simulações das paredes externas .....	10
6.1.1 Simulação 1 – Parede branca sem isolamento .....	10
6.1.2 Simulação 2 - Parede escura sem isolamento .....	11
6.1.3 Simulação 3 – Parede branca isolada .....	11
6.1.4 Simulação 4 – Parede escura isolada .....	12
6.2 Simulações do forro .....	12
6.2.1 Simulação 5 – Forro sem isolamento .....	12
6.3 Simulações das janelas – Parte térmica .....	12
6.3.1 Simulação 6 – Janelas duplas com vidros claros .....	13
6.4 Simulações das janelas – Iluminação .....	13

<b>7. CONCLUSÕES .....</b>	<b>14</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>15</b>
<b>APÊNDICE A - TABELAS DE CONSTITUIÇÕES DO ENVOLTÓRIO .....</b>	<b>16</b>
<b>APÊNDICE B - TABELAS DE PROPRIEDADES DOS MATERIAIS .....</b>	<b>17</b>
<b>ANEXO A - PLANTAS BAIXAS DO PRÉDIO .....</b>	<b>18</b>

## 1. INTRODUÇÃO

As trocas térmicas de uma edificação com o ambiente externo dependem de vários fatores, como: envoltório, finalidade e localização do edifício. Na constituição de um edifício, são de extrema importância para a carga térmica do mesmo os tipos de materiais utilizados nas paredes internas e externas, forros e janelas, o formato da edificação e a qualidade da construção. Esses fatores influem decisivamente na inércia térmica do prédio, como por exemplo, uma parede grossa com isolamento não permite que temperaturas extremas tanto no inverno como no verão alterem a temperatura interna do recinto de forma significativa, pois esse tipo de parede possui um grande atraso térmico em relação a uma parede fina sem isolamento [LAMBERTS et al, 2010]. Também influem no comportamento térmico do edifício as características ópticas dos materiais, como refletividade, absorvidade e transmissividade, para se conhecer o ganho através da radiação solar. A qualidade da construção influi no ganho de calor por infiltração.

Levando-se em conta as cargas internas da edificação, é de extrema importância o calor liberado pelos equipamentos e lâmpadas existentes no ambiente interno. Portanto torna-se essencial o uso de equipamentos e lâmpadas eficientes que liberem pouco calor. A localização das janelas e o uso de dispositivos de sombreamento atuam de forma a permitir maior ou menor entrada de radiação solar e de ventilação natural. Isto vai depender de um balanço entre ganho de calor e iluminação natural, ambos importantes no projeto de um prédio eficiente. Já a localização e formato do edifício, assim como orientação de cada fachada, influem no ganho por radiação solar e também na ventilação natural, permitindo maior ou menor entrada de vento. Desse modo, o formato e a orientação do edifício devem ser analisados cuidadosamente na fase inicial do projeto, pois se projetados de forma errônea, acarretam fatores difíceis de serem corrigidos posteriormente.

A finalidade da edificação está relacionada com o tipo de ocupação que a mesma terá. É influenciada pelo horário de funcionamento do edifício, quantidade de pessoas e tipo de atividade que as mesmas realizam. Para o caso do PELZ é necessário cumprir horários rígidos para que não ocorram gastos excessivos com equipamentos e lâmpadas em horários em que não haja a iluminação natural.

### 1.1 DEFINIÇÃO DE “PELZ”

Um prédio com energia líquida zero (PELZ) ou NZEB, é um prédio que tem consumo de energia líquida zero durante o período de um ano. Isso significa que a energia é transformada no próprio local através de painéis fotovoltaicos, igualando ou ultrapassando o valor do consumo de energia elétrica.

A prioridade principal de um prédio de energia líquida zero é a eficiência energética. Desde o início do projeto de concepção do prédio, a equipe de projeto define a meta de reduzir o consumo de energia da edificação, tentando aliar ao máximo a estética com a funcionalidade do prédio. Os esforços da equipe de projeto para aumentar a eficiência energética da edificação se concentram principalmente em integrar técnicas solares passivas com vidros bem isolados, uso de sensores inteligentes para controle da abertura das janelas e dimerização da iluminação artificial com lâmpadas LED (*light emitting diode*), transformação da energia solar em energia elétrica através de painéis fotovoltaicos, ventilação natural entre outros. Usando-se esses e outros recursos de economia de energia a partir da fase inicial da construção, consegue-se uma mudança significativa no consumo energético em relação às edificações construídas a partir dos métodos convencionais.

### 1.2 JUSTIFICATIVA

Os princípios de construção sustentável figuram como uma das alternativas mundialmente utilizadas frente à ameaça do aquecimento global e suas conseqüentes

alterações climáticas. Nos países desenvolvidos, grandes investimentos nessa área estão sendo feitos e os países em desenvolvimento estão começando a dar mais importância para o assunto.

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) [BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2011], o setor residencial no Brasil foi responsável por 23,88% do consumo final de energia elétrica no país em 2010, o setor comercial e o setor público foram responsáveis por 23,26%. Desse modo, quase 50% da energia elétrica do País é consumida principalmente por sistemas de climatização, iluminação e outros equipamentos eletrônicos. Nesse contexto, segundo Lamberts et al, 2010, a inadequação do projeto às características climáticas locais afeta diretamente o desempenho da edificação, podendo levar à utilização intensa de equipamentos mecânicos de refrigeração e sistemas artificiais de iluminação para garantir o conforto dos usuários, resultando, por conseguinte, no consumo de energia elevado. Levando-se em consideração o exposto, pode-se interpretar que o consumo energético poderia ser bastante reduzido se arquitetos e engenheiros tivessem mais conhecimento sobre a eficiência energética na arquitetura. Por esse motivo é que as preocupações com o projeto da edificação devem começar desde as etapas iniciais de planejamento e projeto, prosseguirem durante a construção e participarem da etapa de operação e manutenção. O envolvimento preliminar de todos os membros da equipe de projeto é crucial para o sucesso de um edifício de alto desempenho, não sendo possível operar eficientemente um edifício que não foi projetado pra tal.

Nesse contexto, foram criadas normas e leis para promover a eficiência energética no setor de edificações residenciais, comerciais e públicas, pois associado ao crescimento econômico existente no Brasil existe também um crescimento no consumo de energia. Um exemplo disso é o PROCEL-EDIFICA, um programa de Eletrobrás que promove o uso racional de energia elétrica em edificações através da sua etiquetagem quanto ao desempenho energético. A etiqueta é concedida em dois momentos: na fase de projeto e após a construção do edifício. Um projeto pode ser avaliado pelo método prescritivo ou pelo método da simulação, enquanto o edifício construído deve ser avaliado através de inspeção *in loco*. Nos edifícios comerciais, de serviços e públicos são avaliados três sistemas: envoltório, iluminação e condicionamento de ar.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Muitos trabalhos já foram realizados nessa área de simulação energética de edificações, analisando a influência que os fatores construtivos exercem sobre seu desempenho. A seguir, listam-se algumas publicações que utilizaram o programa *EnergyPlus* para a realização destes estudos.

Lacchini, 2010, apresentou os resultados de um estudo realizado através da utilização do programa computacional *EnergyPlus* para verificação do desempenho termoenergético de edificações industriais. Foram testados diferentes parâmetros físicos da envoltório. As simulações foram realizadas através de modelo localizado na região climática de Porto Alegre. Verificou que a variação dos materiais construtivos que compõem o envoltório de uma edificação altera de forma considerável as condições térmicas ambientais. Constatou que diferentes materiais construtivos aplicados em um mesmo modelo computacional de edificação podem interferir na fisiologia do ocupante, no consumo energético de um edifício construído, e nas condições de trabalho do ocupante. Os resultados encontrados demonstraram que as principais características termofísicas dos materiais que influenciam no desempenho térmico e energético das edificações industriais são a condutividade, a densidade, o calor específico, a espessura e a absorvância.

Xavier, 2008, aplicou os softwares *EnergyPlus* e *Desktop Radiance* para verificar as suas confiabilidades na avaliação do desempenho térmico e eficiência energética das unidades habitacionais de interesse social para o clima de Cuiabá, MT. Para tanto, monitorou os dados de temperaturas superficiais e iluminâncias internas de quatro paredes de duas residências ao longo do ano de 2007. As avaliações foram desenvolvidas após a obtenção das

medições com a utilização de um radiômetro, para medidas *in loco*, e os valores simulados pelos softwares *EnergyPlus* e *Desktop Radiance*. Foram gerados gráficos comparativos e feita uma regressão para a análise dos dados. A utilização dos softwares mostrou-se confiável na avaliação do desempenho termoenergético das unidades habitacionais.

Lamberts et al, 2010, desenvolveram um projeto chamado Casa Eficiente, localizado em Florianópolis, SC, resultado de parceria estabelecida entre a ELETROSUL, ELETROBRAS/PROCEL Edifica e UFSC. O projeto arquitetônico da Casa Eficiente foi inteiramente embasado na avaliação das condições climáticas de Florianópolis, visando atingir metas de desempenho térmico satisfatório e, por conseguinte, favorecer as condições de conforto nos ambientes internos. Foi feito um estudo prévio das características climáticas, o que determinou as soluções de projeto: escolha dos materiais construtivos, orientação das fachadas, disposição das aberturas para ventilação, desenho de protetores solares para o sombreamento e definição de estratégias híbridas de condicionamento, a exemplo da ventilação mecânica noturna. Realizaram simulações com diferentes opções de ventilação para o período do verão, demonstrando que a ventilação pode ser uma grande aliada para o conforto térmico dos usuários do ambiente quando bem utilizada, mas também pode prejudicar o conforto quando utilizada sem critério. As simulações com o programa *EnergyPlus* mostraram que o conforto térmico no período de verão é favorecido pela integração entre ventilação diurna e noturna, sendo ela controlada pelo valor da temperatura do ar no interior e no exterior da edificação. Foi testada utilização do aquecimento solar passivo para melhoria do conforto no período de inverno com simulações computacionais, variando a abertura das persianas. Os resultados apontaram que a abertura das persianas no período diurno, ao permitir o aproveitamento do sol para aquecimento no inverno, favoreceu o conforto térmico dos usuários nos ambientes da casa. Por fim, os resultados finais demonstraram que a combinação entre inércia térmica, ventilação nos períodos adequados e sombreamento resultou na manutenção de temperaturas internas adequadas ao conforto dos usuários, tanto no verão quanto no inverno.

### 3. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo projetar o envoltório de um prédio com energia líquida zero (PELZ), ou seja, parâmetros como paredes, piso, cobertura, janelas e parâmetros relacionados a ela, como ventilação natural e iluminação natural, minimizando ou zerando o consumo energético anual. Serão testados diversos tipos de envoltório para a análise da diferença que essas mudanças causam no comportamento termoenergético da edificação. Para a modelagem geométrica da edificação foi utilizado o software *Google Sketchup* e para a simulação dos diversos parâmetros dessa edificação será utilizado o software *EnergyPlus*.

### 4. METODOLOGIA

A seguir, mostra-se os programas utilizados para a simulação termoenergética do prédio e também para a sua modelagem geométrica, assim como as principais equações utilizadas pelo programa *EnergyPlus*.

#### 4.1 O PROGRAMA ENERGYPLUS

Para a simulação dessa edificação, foi utilizado o programa computacional *EnergyPlus*, que simula de forma dinâmica o desempenho térmico e energético de edificações. O programa foi desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos da América, sendo elaborado a partir da junção de outros dois programas de simulação, *BLAST* e *DOE-2*. Em integração com o *EnergyPlus*, foi utilizado o software *Google Sketchup* para modelagem geométrica, juntamente com o *plugin Openstudio*, que permitiu que dados do modelo geométrico em 3D, realizados no *Google Sketchup*, pudessem ser utilizados como variáveis de entrada no software de simulação *EnergyPlus*. O *EnergyPlus* pode emitir diversos relatórios

sobre as mais diferentes variáveis envolvidas no desempenho termo energético das edificações simuladas, como por exemplo, mapa de iluminação, horas de desconforto dos ocupantes tanto no inverno quanto no verão, consumo e produção de energia elétrica entre outros parâmetros.

## 4.2 METODOLOGIA DE CÁLCULO DO PROGRAMA *ENERGYPLUS*

O programa *EnergyPlus* define uma zona térmica como um volume de ar a temperatura uniforme e diz também que cada zona tem um sistema independente de controle térmico. Dividindo-se a edificação em diferentes zonas térmicas é possível analisar separadamente cada zona, adotando, caso necessário, diferentes soluções construtivas para cada uma delas. Para o cálculo do balanço de energia de cada componente da edificação (parede, piso, janelas e forro), o *software* utiliza a equação a seguir como base, onde todos os termos estão em *Watt* [*EnergyPlus Engineering Reference*, 2010].

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{int}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{superf}} h_i A_i (T_{st} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zonas}} \dot{m}_i C_p (T_{st} - T_z) + \dot{m}_{inf} C_p (T_{oc} - T_z) + \dot{m}_{stat} C_p (T_{sup} - T_z) \quad (5.1)$$

Onde  $\sum_{i=1}^{N_{int}} \dot{Q}_i$  é a soma das cargas internas convectivas,  $\sum_{i=1}^{N_{superf}} h_i A_i (T_{st} - T_z)$  é a transferência de calor convectivo das superfícies das zonas,  $\dot{m}_{inf} C_p (T_{oc} - T_z)$  é a transferência de calor devido à infiltração do ar exterior,  $\sum_{i=1}^{N_{zonas}} \dot{m}_i C_p (T_{st} - T_z)$  é a transferência de calor devido à mistura de ar entre as zonas,  $\dot{m}_{stat} C_p (T_{sup} - T_z)$  é a energia trocada pelos sistemas de ar condicionado e  $C_z \frac{dT_z}{dt}$  é a energia acumulada no ar da zona térmica. O termo  $C_z$  é definido como  $C_z = \rho_{ar} C_p C_T$ , onde  $\rho_{ar}$  é a densidade do ar,  $C_p$  é o calor específico do ar e  $C_T$  é um coeficiente utilizado pelo programa para o caso de a capacidade de calor sensível do ar da zona térmica necessitar de um aumento para estabilizar a simulação. Se isto ocorrer, seu valor é maior do que 1, caso contrário, seu valor é 1.

A equação de balanço de massa transiente para mudança no conteúdo de umidade da zona térmica utilizada pelo programa é composta pela soma das cargas internas latentes declaradas, pela infiltração, cargas dos sistemas de climatização, fluxos de ar entre zonas e pela convecção para as superfícies das zonas, como pode ser visto na equação a seguir.

$$\rho_{ar} V_z C_w \frac{dW_z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{int}} k_i q_{massa} + \sum_{i=1}^{N_{sup}} A_i \dot{m}_i \rho_{ar} (W_{sup_i} - W_z^t) + \sum_{i=1}^{N_{zonas}} \dot{m}_i (W_{st} - W_z^t) + \dot{m}_{inf} (W_{oc} - W_z^t) + \dot{m}_{stat} (W_{form} - W_z^t) \quad (5.2)$$

### 4.2.1 BALANÇO DE ENERGIA NA SUPERFÍCIE EXTERNA DAS PAREDES EXTERNAS

Segundo metodologia de cálculo do programa *EnergyPlus*, o balanço de energia na superfície externa de uma parede externa é:

$$q_{asol}'' + q_{LWR}'' + q_{conv}'' - q_{kon}'' = 0 \quad (5.3)$$

Onde  $q_{asol}''$  é o fluxo de radiação solar direta e difusa absorvida (comprimento de onda curto),  $q_{LWR}''$  é o fluxo de radiação de comprimento de onda longo trocada entre a superfície e seu entorno,  $q_{conv}''$  são as trocas convectivas com o ar exterior e  $q_{kon}''$  é o fluxo de calor condutivo do lado externo da parede. Todos os termos estão em  $[W/m^2]$ .

#### 4.2.2 BALANÇO DE ENERGIA NA SUPERFÍCIE INTERNA DAS PAREDES EXTERNAS

Segundo o manual do *EnergyPlus* [*EnergyPlus Engineering Reference*, 2010], o elemento fundamental do balanço de energia é aquele que envolve as superfícies internas das paredes externas das zonas térmicas. Este balanço de energia geralmente é modelado com 4 componentes acoplados de transferência de calor: 1) Condução através do elemento do prédio, 2) Convecção para o ar, 3) Radiação de ondas curtas absorvida e refletida e 4) Trocas de radiação de ondas longas. A radiação de ondas curtas incidente é originada a partir da radiação solar que entra nas zonas térmicas através das janelas e da emitância a partir de fontes internas, como por exemplo, as lâmpadas. Já as trocas de radiação de ondas longas incluem a absorção e a emitância das fontes de radiação de baixa temperatura, como todas as outras superfícies da zona, equipamentos e pessoas. O balanço de energia na face de dentro da parede pode ser descrito por:

$$q_{LWIR}'' + q_{SW}'' + q_{LWIR}'' + q_{HT}'' + q_{sol}'' + q_{conv}'' = 0 \quad (5.4)$$

Onde  $q_{LWIR}''$  é o fluxo de radiação de ondas longas trocado entre as superfícies da zona térmica,  $q_{SW}''$  é o fluxo de radiação de ondas curtas das luminárias para as superfícies,  $q_{LWIR}''$  é a radiação de ondas longas provenientes dos equipamentos da zona térmica,  $q_{HT}''$  é o fluxo de calor condutivo para o lado interno da parede,  $q_{sol}''$  é o fluxo de radiação solar transmitida e absorvida pelas superfícies e  $q_{conv}''$  é o fluxo de calor convectivo para o ar da zona térmica. Todos os termos da equação estão em  $[W/m^2]$ .

#### 4.2.3 VENTILAÇÃO NATURAL

O objeto para calcular a ventilação natural do programa *EnergyPlus* utilizado neste trabalho, foi o *Wind and stack with open area*. Para este modelo, o fluxo de ar da ventilação natural é uma função da velocidade do vento e do efeito de chaminé térmica, juntamente com a área de aberturas que está sendo modelada. Usando-se este objeto do *EnergyPlus*, o fluxo de ar da ventilação natural pode ser controlado por um horário definido pelo usuário para controlar a área de abertura das janelas por meio das especificações de temperaturas mínimas, máximas e diferença de temperaturas. As temperaturas de controle podem ser constantes para toda a simulação ou podem variar ao longo do tempo através de horários. A equação utilizada para calcular a taxa de ventilação impulsionada pelo vento é dada pela equação 37 do capítulo 16 do *ASHRAE Handbook of Fundamentals* de 2009:

$$Q_w = C_w + A_{abert} F_{sched} V \quad (5.5)$$

Onde  $Q_w$  é a vazão volumétrica de ar impulsionada pelo vento  $[m^3/s]$ ,  $C_w$  é a efetividade das aberturas [adimensional],  $A_{abert}$  é a área de abertura das janelas  $[m^2]$ ,  $F_{sched}$  é a fração de área de abertura das janelas [adimensional, definido pelo usuário] e  $V$  é a velocidade do vento local  $[m/s]$ .

A equação utilizada para calcular a taxa de ventilação devido ao efeito chaminé é dada pela equação 38 do capítulo 16 do *ASHRAE Handbook of Fundamentals* de 2009:

$$Q_s = C_D A_{abert} F_{sched} \sqrt{2g \Delta H_{NPL} \left( \frac{T_{zona} - T_{out}}{T_{zona}} \right)} \quad (5.6)$$

Onde  $Q_s$  é a vazão volumétrica de ar devido ao efeito chaminé  $[m^3/s]$ ,  $C_D$  é o coeficiente de descarga para a abertura das janelas [adimensional],  $A_{abert}$  é a área de abertura das janelas  $[m^2]$ ,  $F_{sched}$  é a fração de área de abertura das janelas [adimensional, definido pelo usuário],  $\Delta H_{NPL}$  é a altura do ponto médio da abertura mais baixa da edificação até o ponto de

pressão neutra [m],  $T_{zona}$  é a temperatura de bulbo seco do ar da zona térmica [K] e  $T_{out}$  é a temperatura de bulbo seco do ar exterior [K].

A taxa de ventilação total calculada por este modelo é dada pela seguinte equação:

$$Vent_{windstack} = \sqrt{Q_s^2 + Q_w^2} \quad (5.7)$$

#### 4.2.4 ARQUIVO CLIMÁTICO

No presente trabalho, serão utilizados os dados climáticos de um Ano Climático de Referência, ou *Test Reference Year* (TRY). Este tipo de arquivo climático é desenvolvido com base em dados climáticos adquiridos em um período superior a 10 anos e utiliza os doze meses que melhor representem o clima local. O arquivo possui dados meteorológicos de temperatura, umidade, pressão, radiação solar, direção e velocidade do vento da cidade de Porto Alegre.

### 5. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

A edificação em estudo nesse trabalho teve seu projeto elaborado por um grupo de 4 pessoas, composto por um Professor orientador, uma estudante de Arquitetura e dois estudantes de engenharia mecânica. Na fase de projeto, foram discutidas formas para que a edificação tenha o mínimo de gasto energético, como tamanho adequado das janelas, localização das mesmas em relação à orientação solar, mas não esquecendo a carga térmica que entra através das janelas. Portanto, o projeto de uma edificação eficiente se torna bastante complexo, pois algumas vezes, melhorando um parâmetro, se piora outro, devendo-se estudar muito bem tais parâmetros para achar o equilíbrio entre um e outro.

#### 5.1 DESCRIÇÃO DA EDIFICAÇÃO

A edificação que foi projetada (figura 5.1) possui, na fachada Norte, painéis fotovoltaicos inclinados acompanhando a inclinação da latitude para melhor aproveitamento da coleta da luz solar.



Figura 5.1 – Vista do prédio projetado.

O prédio possui dois pavimentos, sendo que o segundo é um mezanino. Possui dois banheiros e uma área de serviços que ficam no volume anexo ao prédio abaixo do

reservatório de água, e as mesas de trabalho ficam tanto no térreo quanto no mezanino. O volume anexo ao prédio ainda possui acima do reservatório de água uma torre evaporativa para resfriar o mezanino no período mais crítico do verão, pois apenas com a ventilação natural não foi possível atingir as horas de conforto esperadas.

## 5.2 VENTILAÇÃO CRUZADA

As janelas dessa edificação estão posicionadas de modo a permitir a circulação de ventilação cruzada, havendo janelas em fachadas opostas para permitir esse efeito. Como pode ser visto na figura 5.2, a ventilação cruzada ocorre, essencialmente, devido à existência de zonas com diferentes pressões, ou seja, na fachada de incidência do vento existe uma zona de alta pressão e na fachada oposta, uma zona de baixa pressão.

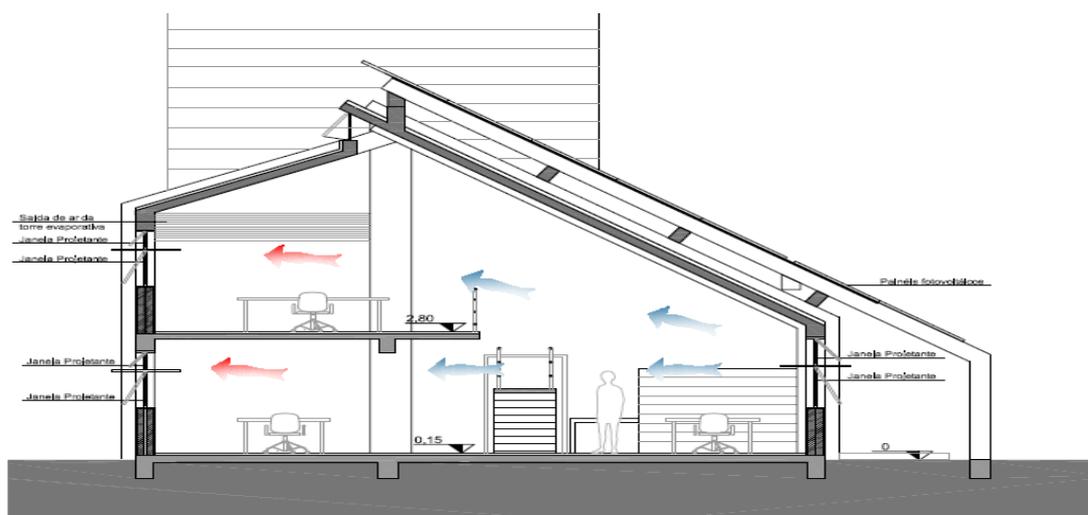


Figura 5.2 – Ventilação cruzada.

## 5.3 VENTILAÇÃO POR EFEITO CHAMINÉ

Também existem janelas no alto da edificação para permitir o chamado efeito chaminé, que segundo Lamberts et al, 2011, baseia-se na diferença entre as temperaturas do ar interior e exterior, provocando um deslocamento da massa de ar da zona de maior para a de menor pressão. Ou seja, quando ocorre uma elevação da temperatura interna, a densidade deste ar diminui, causando a sua ascensão, saindo pelas janelas mais altas, enquanto ar externo entra pelas janelas do térreo, causando uma circulação de ar. E quanto maior a diferença de altura entre as janelas mais altas e as mais baixas, maior o efeito chaminé. Este efeito é apresentado na figura 5.3.

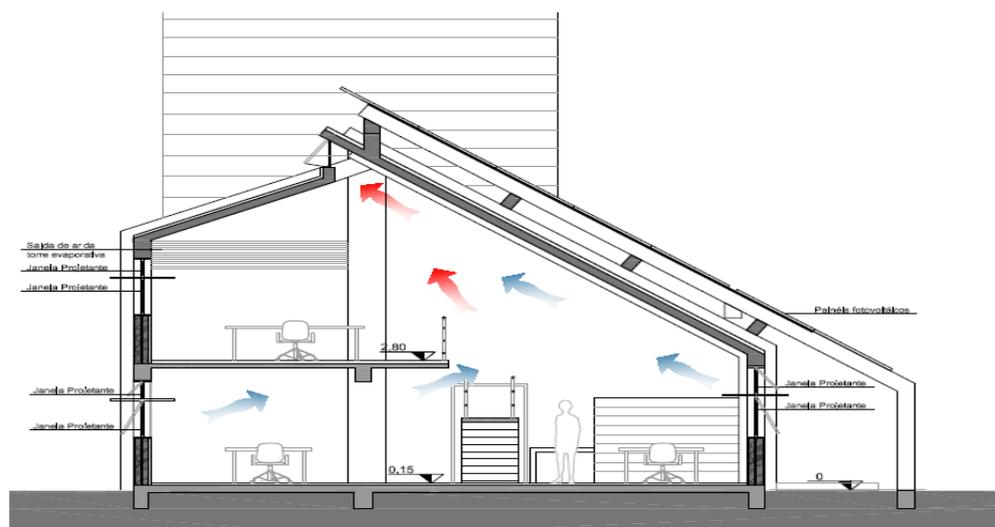


Figura 5.3 – Efeito chaminé.

## 5.4 CONTROLE DE ABERTURA DAS JANELAS

Para se ter um melhor controle sobre temperaturas internas e velocidades do vento dentro da edificação, para não gerar desconforto às pessoas, foi utilizado um sistema de motorização das janelas, utilizando-se como critérios:

- Com velocidades de vento acima de 5 m/s, as janelas se fecham automaticamente para garantir que ventos muito intensos não atinjam o interior da edificação, podendo ser prejudicial ao ambiente de trabalho.
- Com temperaturas internas da edificação abaixo de 19°C, as janelas se fecham automaticamente evitando que o ambiente se resfrie abaixo do recomendado.
- Quando as temperaturas externas encontram-se abaixo de 10°C ou acima de 35°C, as janelas fecham para impedir que estas temperaturas extremas causem desconforto aos usuários do prédio.

Também se utilizou um sistema para que quando ocorram períodos de calma ou sem ventos, as janelas do mezanino se fecham e as mais altas da cobertura e térreas são abertas para permitir a retirada do calor no verão pelo efeito chaminé. Já, quando os ventos estão ocorrendo, as janelas superiores do mezanino se fecham e as inferiores e térreas se abrem para promover a ventilação cruzada.

## 5.5 ILUMINAÇÃO NATURAL

Um dos principais fatores para economia de energia é a iluminação natural, proporcionada por grandes aberturas envidraçadas nas fachadas norte e sul para aproveitamento da luz solar. Entretanto, para a luz solar não gerar desconforto nos usuários do prédio, fez-se necessária uma alternativa para evitar que a luz solar direta possa comprometer o espaço de trabalho ou causar ofuscamento. Por esse motivo, instalou-se *light-shelves*, ou prateleiras de luz, (figura 5.3) para homogeneizar melhor a luz solar que adentra no ambiente, que na figura está representada em amarelo.

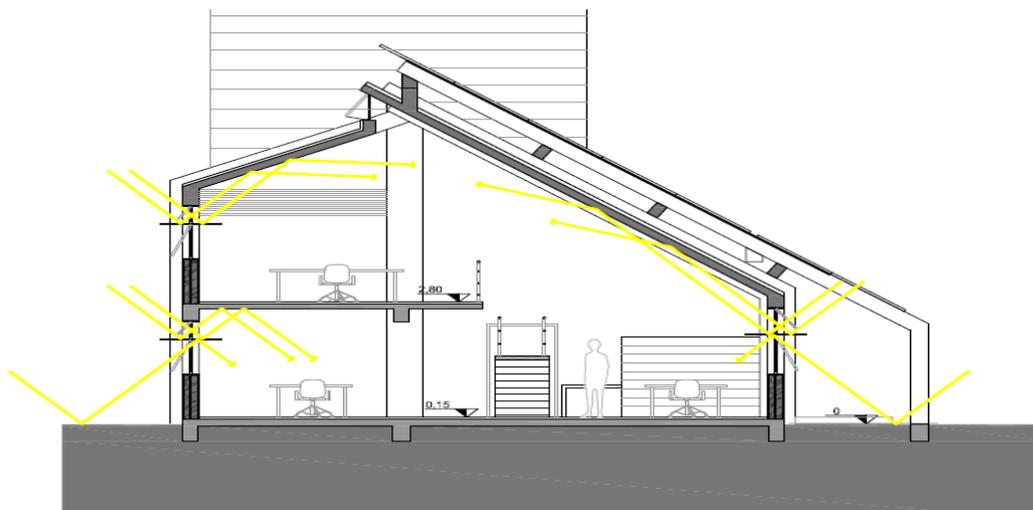


Figura 5.4 – Detalhe das prateleiras de luz.

## 5.6 CARGAS TÉRMICAS INTERNAS

Nos subitens a seguir, mostram-se as principais cargas térmicas internas presentes na edificação, como equipamentos, lâmpadas e pessoas.

### 5.6.1 EQUIPAMENTOS

Considerando um prédio de escritórios e a constante utilização de computadores por parte dos funcionários, optou-se pelo uso de *notebooks*, pois estes consomem cerca de 1/3 da energia de um *desktop* convencional (ELETROBRAS, 2011). Os outros equipamentos, como impressoras, frigobares e cafeteiras, também foram selecionados pelo mesmo critério, ou seja, que tivessem comprovada eficiência energética através de certificações nacionais, como o selo Procel. No caso do frigobar, sua instalação será efetuada de tal maneira que seu trocador de calor externo (condensador) fique para o lado externo da edificação, consumindo energia, porém não contribuindo com a carga térmica. Foi utilizado no programa *EnergyPlus* para simular a potência dos equipamentos, 20 W/pessoa (1 *notebook* por pessoa), com fração radiante de 0,2.

### 5.6.2 LÂMPADAS

As lâmpadas desta edificação são de LED, pois possuem elevada economia de energia em comparação com as lâmpadas tradicionais fluorescentes e incandescentes. Essa economia pode chegar a valores de 50% em relação às tradicionais lâmpadas fluorescentes (LED light group, 2011). Além disso, foi utilizada dimerização das lâmpadas, para que nos dias com boa iluminação solar, as lâmpadas não sejam utilizadas em suas potências máximas, variando de acordo com a necessidade de iluminação. Para isso, foi feito um controle com sensores de iluminação posicionados de forma estratégica para conseguir diferenciar zonas próximas de janelas de zonas mais afastadas, necessitando de mais iluminação artificial, utilizando-se um *setpoint* de 500 lux. Para a simulação no *EnergyPlus*, foi utilizado o valor de 12 W/m<sup>2</sup>, com fração radiante de 0,37, que é a fração da potência elétrica transformada em calor, e fração visível de 0,36, que é a fração da potência transformada em luz visível.

### 5.6.3 PESSOAS

Quanto à ocupação por pessoas, foi estipulado que o escritório começa as atividades às 8 horas da manhã, fecha para o almoço às 12 horas e volta-se às 14 horas, e encerra totalmente suas atividades às 18 horas, para economizar energia com iluminação artificial e outros equipamentos. No programa *EnergyPlus*, foi declarada uma ocupação de 11,6 m<sup>2</sup>/pessoa, fração radiante de 0,5 e as pessoas realizando atividade de escritório, dissipando 120 W para o ambiente.

## 6. METODOLOGIA DAS SIMULAÇÕES

Para melhor analisar as possibilidades de envoltórios para o PELZ, serão simulados diferentes tipos de paredes externas e forros, verificando-se as horas anuais de desconforto térmico e as temperaturas médias internas da edificação. Também será analisada a influência dos vidros, tanto na iluminação quanto no ganho térmico pelas janelas. Também na parte de iluminação, serão mostrados mapas de iluminação com e sem prateleiras de luz.

### 6.1 SIMULAÇÕES DAS PAREDES EXTERNAS

Nos subitens a seguir, foram simuladas paredes externas bem isoladas termicamente e também sem isolamento, assim como paredes de cores escuras e claras.

#### 6.1.1 SIMULAÇÃO 1 – PAREDE BRANCA SEM ISOLAMENTO

No primeiro caso, foi simulada uma parede simples sem isolamento, composta pelos materiais da tabela presente no apêndice (tabela A.1), juntamente com os outros componentes construtivos da edificação. Os componentes da tabela se encontram em ordem, na qual o primeiro componente é o da camada mais externa e o último o da camada mais interna da parede.

A seguir, os resultados dessa simulação (tabela 6.1), mostrando a temperatura operativa média (em °C) em cada um dos recintos ocupados do prédio e o número de horas dentro do ano simulado em que a temperatura operativa interna ultrapassou os limites superior e inferior de conforto no período de ocupação, que são respectivamente, 19°C e 28,5°C, segundo a norma ASHRAE 90.1.

Tabela 6.1 – Resultados da simulação 1.

	<b>TÉRREO-SUL</b>	<b>MEZANINO</b>	<b>TÉRREO-NORTE</b>
Temperatura operativa média anual [°C]	22,7	21,4	22,6
Número de horas acima do limite superior de conforto	50	20	79
Número de horas abaixo do limite inferior de conforto	710	1228	808

Nota-se que a temperatura operativa ultrapassou os limites aceitáveis de conforto diversas vezes, principalmente o limite inferior de 19°C. Isto se deve ao fato de que, sem um isolante térmico na parede externa, há uma menor resistência térmica na parede, facilitando que temperaturas externas muito baixas afetem de forma considerável a temperatura interna, gerando desconforto.

### 6.1.2 SIMULAÇÃO 2 – PAREDE ESCURA SEM ISOLAMENTO

Agora, na tabela 6.2, os resultados da simulação de uma parede com a mesma constituição da parede sem isolamento da simulação 1, exceto a cor das paredes externas, que foi trocada para uma cor escura, com absorvância solar de 0,9.

Tabela 6.2 - Resultados da simulação 2.

	<b>TÉRREO-SUL</b>	<b>MEZANINO</b>	<b>TÉRREO-NORTE</b>
Temperatura operativa média anual [°C]	25	23	25,2
Número de horas acima do limite superior de conforto	1065	117	1123
Número de horas abaixo do limite inferior de conforto	246	562	243

Como esperado, esta modificação da cor das paredes externas diminuiu as horas de desconforto no inverno e aumentou a temperatura média em toda a edificação, pelo fato da parede absorver melhor a radiação solar, aumentando a temperatura interna da edificação, e aumentou de forma considerável as horas de desconforto no verão pelo mesmo motivo.

### 6.1.3 SIMULAÇÃO 3 – PAREDE BRANCA ISOLADA

A seguir, na tabela 6.3, os resultados da simulação de uma parede externa grossa isolada com maior inércia térmica, composta pelos seguintes componentes (mantendo-se iguais os outros constituintes da tabela A.1):

- Camada de reboco de 25 mm de cor branca;
- Tijolo simples de 100 mm;
- Isolamento de 75 mm de poliuretano;
- Tijolo simples de 100 mm;
- Camada de reboco de 25 mm de cor branca.

Tabela 6.3 - Resultados da simulação 3.

	<b>TÉRREO-SUL</b>	<b>MEZANINO</b>	<b>TÉRREO-NORTE</b>
Temperatura operativa média anual [°C]	24,3	23	24,3
Número de horas acima do limite superior de conforto	26	7	42
Número de horas abaixo do limite inferior de conforto	2	98	7

Nota-se um número reduzido de horas de desconforto em todos os ambientes da edificação e um aumento da temperatura média da edificação comparando-se à simulação 1. Isto se deve ao fato de que a parede bem isolada termicamente dificulta as trocas térmicas com o ambiente externo devido à alta resistência térmica, não permitindo que ocorram grandes variações de temperatura dentro do prédio devido às temperaturas externas.

#### 6.1.4 SIMULAÇÃO 4 – PAREDE ESCURA ISOLADA

Agora, na tabela 6.4, os resultados da simulação da mesma parede da simulação 3, trocando-se a cor da camada externa para preto:

Tabela 6.4 - Resultados da simulação 4.

	TÉRREO-SUL	MEZANINO	TÉRREO-NORTE
Temperatura operativa média anual [°C]	24,7	23,2	24,7
Número de horas acima do limite superior de conforto	80	11	95
Número de horas abaixo do limite inferior de conforto	1	53	0

No inverno houve pouca mudança, apenas uma redução nas horas de desconforto do mezanino. Porém no verão, houve uma piora considerável nas horas de desconforto do verão, praticamente dobrando o número de horas em cada ambiente da edificação, ultrapassando o limite de horas aceitáveis de desconforto. Na temperatura média, houve uma pequena elevação em relação ao caso 3.

#### 6.2 SIMULAÇÕES DO FORRO

No subitem a seguir, foi simulado um forro não isolado termicamente, ressaltando-se que o caso de um forro isolado termicamente já foi estudado na simulação 3.

##### 6.2.1 SIMULAÇÃO 5 – FORRO SEM ISOLAMENTO

Neste primeiro caso, foi simulado um forro sem isolamento, com a constituição do envoltório presente na tabela A.2 e os resultados na tabela 6.5.

Tabela 6.5 - Resultados da simulação 5.

	TÉRREO-SUL	MEZANINO	TÉRREO-NORTE
Temperatura operativa média anual [°C]	24,2	22,5	24,1
Número de horas acima do limite superior de conforto	79	57	121
Número de horas abaixo do limite inferior de conforto	18	789	82

Os resultados mostram que houve um aumento das horas de desconforto em todas as zonas térmicas no período de verão, e no inverno um aumento excessivo no mezanino, devido ao fato de ser a zona mais próxima do forro, sofrendo mais com as variações da temperatura externa por causa do forro não isolado. Quanto à temperatura média, sofreu pouca alteração no térreo-norte e no térreo-sul, já no mezanino, sofreu uma queda de 0,5°C.

#### 6.3 SIMULAÇÕES DAS JANELAS – PARTE TÉRMICA

No subitem a seguir, foi simulada uma janela com 2 camadas de vidro claro, ressaltando-se que o caso de uma janela de vidro duplo com a camada externa de vidro SKN,

que possui uma baixa transmitância solar de 24% contra 84% do vidro claro, já foi estudado na simulação 3, o qual mostrou ser o melhor caso dentre os já citados.

### 6.3.1 SIMULAÇÃO 6 – JANELAS DUPLAS COM VIDROS CLAROS

Neste caso, foram simuladas janelas de vidro duplo com duas camadas de vidro claro com espaço de ar entre elas, mantendo-se a constituição dos outros componentes segundo a tabela A.3, e os resultados estão presentes na tabela 6.6.

Tabela 6.6 - Resultados da simulação 6.

	TÉRREO-SUL	MEZANINO	TÉRREO-NORTE
Temperatura operativa média anual [°C]	25,2	23,6	25,3
Número de horas acima do limite superior de conforto	250	29	329
Número de horas abaixo do limite inferior de conforto	0	17	1

Esta simulação demonstrou que o vidro duplo composto por 2 camadas de vidro claro são ineficientes para quando há uma alta incidência de radiação solar, pois houve um número grande de horas acima dos 28,5°C previstos para o conforto.

### 6.4 SIMULAÇÕES DAS JANELAS – ILUMINAÇÃO

Primeiramente foi simulado o mapa de iluminação sem as prateleiras de luz, causando desconforto nos usuários situados próximos às janelas por conta da radiação solar direta, chegando-se a valores próximos de 2500 lux, como pode ser visto no mapa de iluminação da figura 6.1.

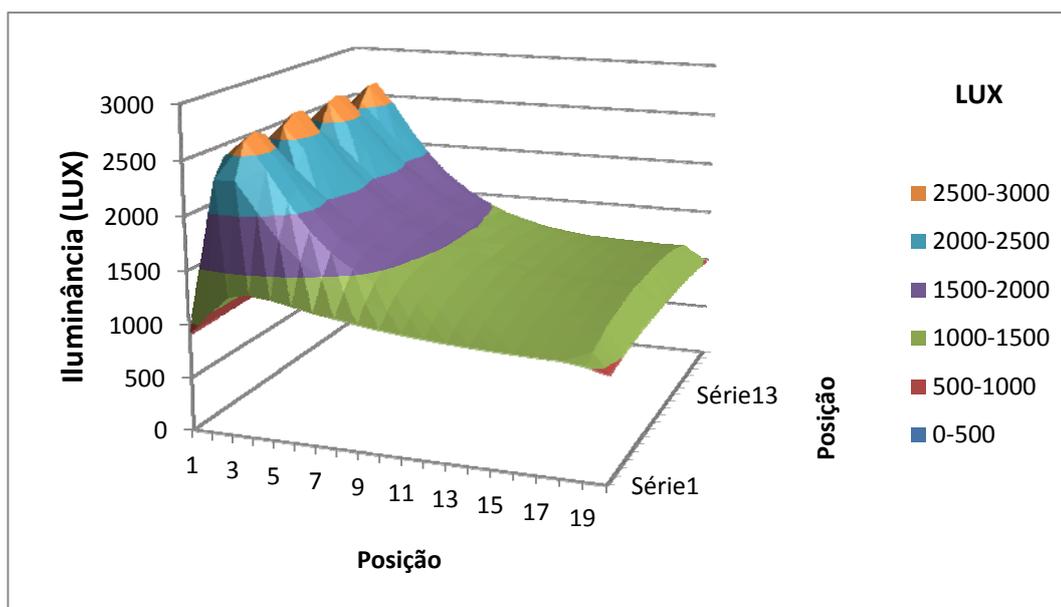


Figura 6.1 – Mapa de iluminação sem prateleiras de luz.

Após esta primeira simulação, foi feita outra utilizando-se prateleiras de luz de cor branca para poder se visualizar o efeito benéfico que esta traz à iluminação natural, causando menos ofuscamento que a luz solar direta, como pode ser visto na figura 6.2.

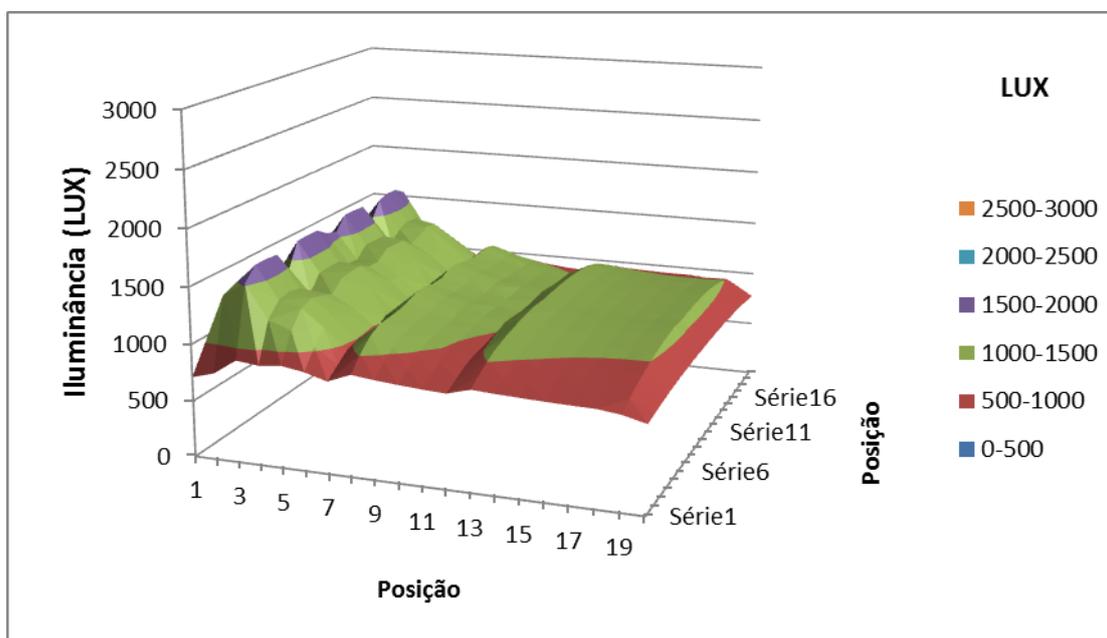


Figura 6.2 – Mapa de iluminação com prateleiras de luz.

Como pode ser visto, próximo às janelas a iluminância chegou a valores próximos a 1500 lux, 40% menores do que sem a utilização das prateleiras de luz. Segundo a norma NBR 5413 [ABNT, 1992], os valores adequados para um escritório de desenho, engenharia mecânica e arquitetura são, respectivamente, em lux, 750, 1000 e 1500, ou seja, dentro dos valores encontrados pelas simulações com prateleiras.

Para efeito desta comparação, os mapas de iluminação foram simulados na zona térreo – sul, no equinócio do dia 21/03, às 15 horas.

## 7. CONCLUSÕES

Analisando-se os resultados das simulações, chegou-se a conclusão de que a melhor configuração para o envoltório do prédio, mostrada na tabela A.4, visando-se o conforto térmico e lumínico é:

- Paredes externas espessas e isoladas termicamente;
- Forro espesso e isolado termicamente;
- Vidro duplo com a camada externa de vidro SKN, com pouca transmitância solar e alta transmitância visível;
- Utilização de prateleiras de luz para dispersar melhor a luz natural.

A simulação desta configuração de envoltório mostrou que todos os ambientes estavam com temperaturas ao longo do ano entre, aproximadamente, 17°C e 29°C. No alto inverno, com os controles de aberturas das janelas, há pouca ou nenhuma incidência de vento dentro da edificação, melhorando-se o conforto térmico. Já no alto verão, com a incidência da ventilação cruzada e do efeito chaminé, a sensação de calor diminui, mesmo com temperaturas relativamente altas dentro da edificação. Baseado na norma ASHRAE 90.1 para conforto térmico em ambientes ventilados, estabeleceu-se como parâmetro as temperaturas mínimas de

19°C e máximas de 28,5°C. Com os sistemas implementados de controle de ventilação e iluminação, e o envoltório bem planejado, os ocupantes terão 107 horas de desconforto no inverno e 75 horas de desconforto no verão, totalizando um total de 182 horas de desconforto durante o tempo de ocupação no ano simulado. Estes valores estão de acordo, pois a norma prevê um máximo de 300 horas de desconforto por ano para os ocupantes.

Quanto ao consumo energético anual da edificação, encontrou-se na faixa de 5.300 kW.h, valor bastante inferior ao alcançado pela transformação de energia solar em elétrica feita pelos painéis fotovoltaicos, que encontrou-se na faixa de 22.000 kW.h.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE, *American Society of Heating, Refrigerating, and Air – Conditioning Engineers, Handbook of Fundamentals*, capítulo 16, Atlanta, EUA, 2009.

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

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 5413, **Iluminância de Interiores**, Rio de Janeiro, 1992.

Brasil, Ministério de Minas e Energia; **Balço Energético Nacional 2011: Ano base 2010**. Rio de Janeiro: EPE, 2011.

*Energyplus. EnergyPlus Engineering reference – The reference to EnergyPlus calculations*. Lawrence Berkeley National Laboratory. 2010.

*Energyplus. Input Output Reference – The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output*. Lawrence Berkeley National Laboratory. 2010.

Lacchini, A., S.; “**Desempenho termoenergético de edificações industriais**”, Porto Alegre: UFRGS, Faculdade de Arquitetura, Dissertação de Mestrado, 2010.

Lamberts, R., Marinoski, A. K., Gonçalves, C. E.; “**Casa eficiente – Bioclimatologia e desempenho térmico, volume 1**”, LABEE – UFSC, 2010.

*LedlightGroup; LLG Linear LED Light series*. Disponível em <[www.ledlightgroup.com](http://www.ledlightgroup.com)>, acessado em Outubro de 2011.

Procel. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Canal do consumidor: Consumo de Eletrodomésticos**. Disponível em: <<http://www.eletobras.gov.br/procel>>. Acessado em: Setembro de 2011.

Xavier, A., L.; “**Estudo da utilização dos softwares EnergyPlus e Desktop Radiance na cidade de Cuiabá**”, Cuiabá: UFMT, Instituto de Física, Dissertação de Mestrado, 2008.

## APÊNDICE A – TABELAS DE CONSTITUIÇÕES DO ENVOLTÓRIO

Tabela A.1 – Constituição do envoltório na simulação 1.

<b>Tipo construção</b>	<b>Constituição</b>
Paredes externas	Reboco (25mm) branco + tijolo (100mm) + reboco (25mm) branco
Forro externo	Impermeabilizante + reboco (25mm) branco + isolamento de poliuretano (75mm) + concreto pesado (200mm) + reboco (25mm) branco
Janelas	Vidro SKN (9mm) + espaço de ar (13mm) + vidro claro (3mm)
Paredes internas	Reboco (25mm) branco + tijolo (100mm) + isolamento de poliuretano (75mm) + tijolo (100mm) + reboco (25mm) branco
Forro interno	Concreto leve (100mm) + Espaço de ar + placa acústica (19,1mm)
Piso externo	Tijolo (300mm) + concreto pesado (200mm)

Tabela A.2 – Constituição do envoltório na simulação 5.

<b>Tipo construção</b>	<b>Constituição</b>
Paredes externas	Reboco (25mm) branco + tijolo (100mm) + isolamento de poliuretano (75mm) + tijolo (100mm) + reboco (25mm) branco
Forro externo	Impermeabilizante + concreto pesado (200mm) + reboco (25mm) branco
Janelas	Vidro SKN (9mm) + espaço de ar (13mm) + vidro claro (3mm)
Paredes internas	Reboco (25mm) branco + tijolo (100mm) + isolamento de poliuretano (75mm) + tijolo (100mm) + reboco (25mm) branco
Forro interno	Concreto leve (100mm) + Espaço de ar + placa acústica (19,1mm)
Piso externo	Tijolo (300mm) + concreto pesado (200mm)

Tabela A.3 – Constituição do envoltório na simulação 6.

<b>Tipo construção</b>	<b>Constituição</b>
Paredes externas	Reboco (25mm) branco + tijolo (100mm) + isolamento de poliuretano (75mm) + tijolo (100mm) + reboco (25mm) branco
Forro externo	Impermeabilizante + reboco (25mm) branco + isolamento de poliuretano (75mm) + concreto pesado (200mm) + reboco (25mm) branco
Janelas	Vidro claro (3mm) + espaço de ar (13mm) + vidro claro (3mm)
Paredes internas	Reboco (25mm) branco + tijolo (100mm) + isolamento de poliuretano (75mm) + tijolo (100mm) + reboco (25mm) branco
Forro interno	Concreto leve (100mm) + Espaço de ar + placa acústica (19,1mm)
Piso externo	Tijolo (300mm) + concreto pesado (200mm)

Tabela A.4 – Constituição escolhida.

<b>Tipo construção</b>	<b>Constituição</b>
Paredes externas	Reboco (25mm) branco + tijolo (100mm) + isolamento de poliuretano (75mm) + tijolo (100mm) + reboco (25mm) branco
Forro externo	Impermeabilizante + reboco (25mm) branco + isolamento de poliuretano (75mm) + concreto pesado (200mm) + reboco (25mm) branco
Janelas	Vidro SKN (9mm) + espaço de ar (13mm) + vidro claro (3mm)
Paredes internas	Reboco (25mm) branco + tijolo (100mm) + isolamento de poliuretano (75mm) + tijolo (100mm) + reboco (25mm) branco
Forro interno	Concreto leve (100mm) + Espaço de ar + placa acústica (19,1mm)
Piso externo	Tijolo (300mm) + concreto pesado (200mm)

## APÊNDICE B – TABELAS DE PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

Tabela B.1 – Propriedades dos elementos construtivos utilizados.

<b>Material</b>	<b>Condutividade térmica [W/m.K]</b>	<b>Densidade[kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Calor específico [J/kg.K]</b>
Reboco	0,72	1858,14	830
Tijolo (100mm)	0,89	1920	790
Isolamento de Poliuretano	0,0245	24	1590
Placa acústica	0,06	368	590
Concreto pesado	1,95	2240	900

Tabela B.2 – Propriedades dos vidros utilizados.

<b>Material</b>	<b>Coefficiente de ganho de calor solar</b>	<b>Transmitância visível</b>	<b>Condutividade térmica [W/m.K]</b>
Vidro claro	0,84	0,9	0,9
Vidro SKN	0,24	0,5	0,9

## ANEXO A – PLANTAS BAIXAS DO PRÉDIO

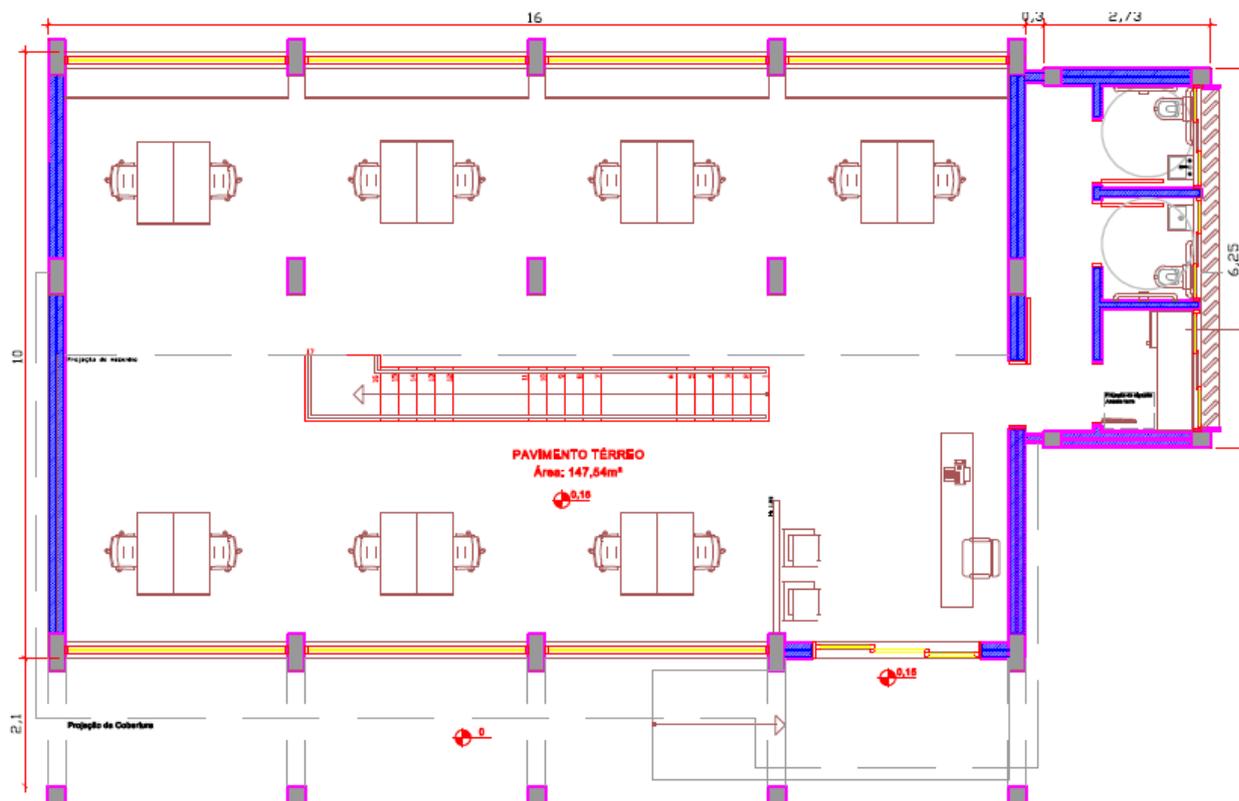


Figura A.1 – Planta baixa do pavimento térreo

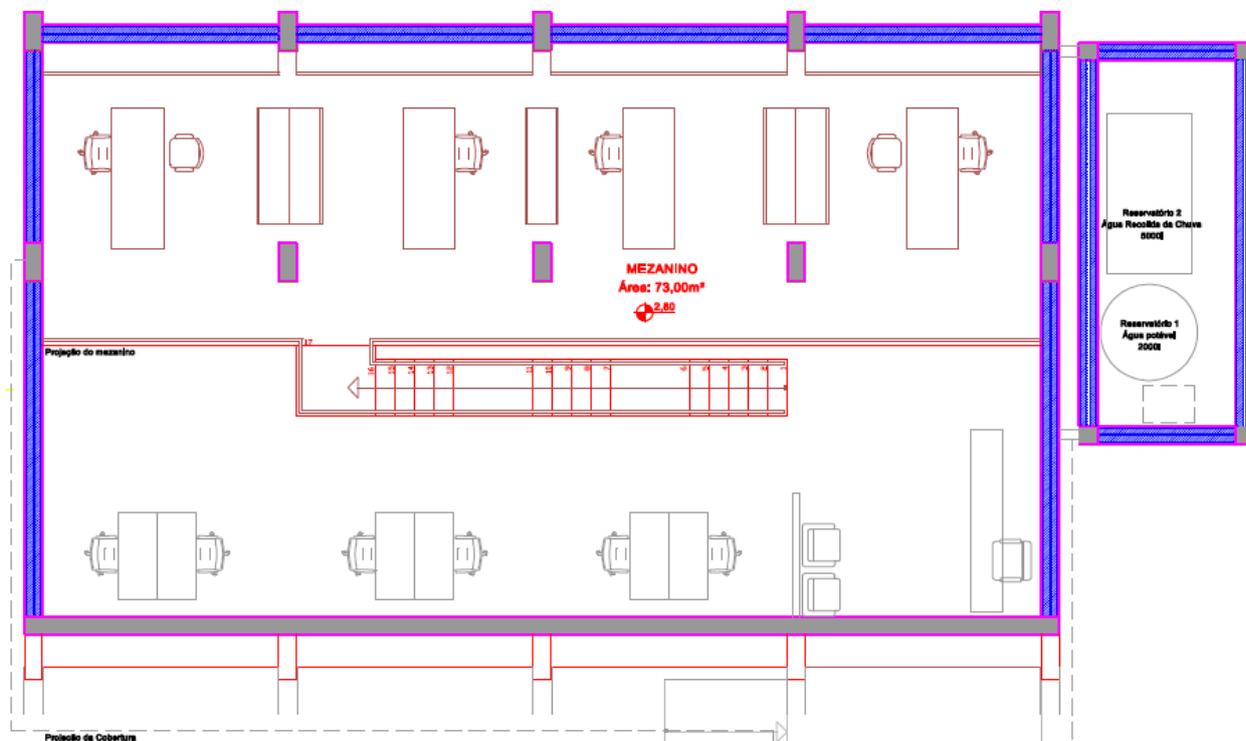


Figura A.2 - Planta baixa do mezanino.