

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

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA AR CONDICIONADO E ANÁLISE
ENERGÉTICA PARA UM PRÉDIO

por

Diego de Ávila Pietzsch

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, Junho 2012



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

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA AR CONDICIONADO E ANÁLISE
ENERGÉTICA PARA UM PRÉDIO

por

Diego de Ávila Pietzsch

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. Arnaldo Ruben Gonzalez Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: **Ciências Térmicas**

Orientador: Prof. Paulo Beyer

Comissão de Avaliação:

Porto Alegre, 10, Junho de 2011.

Agradecimentos

Agradeço à minha família, em especial meu pai, mãe e irmã, por me apoiarem nas minhas escolhas e acreditarem em meu potencial e colocarem minha educação como prioridade em seus objetivos.

Ao meu orientador Paulo Beyer, por toda a atenção e conhecimentos passados e por sua grande influencia na minha formação profissional.

Aos amigos da faculdade, Nino, Leco, Thiago, Jeronimo, Franco, Daniel e Argenta, os quais me ajudaram a superar as dificuldades do curso e tornaram possível chegar onde estou.

Aos meu grandes amigos, Bárbara, Milton, Dani, Thiago, Karin, Tete, Tuca, Paty, Rafa e Pita, pelas festas, conversas, viagens, e risadas que tornam meus dias melhores.

“Mantenha seus pensamentos positivos,
porque seus pensamentos tornam-se suas palavras.
Mantenha suas palavras positivas,
porque suas palavras tornam-se suas atitudes.
Mantenha suas atitudes positivas,
porque suas atitudes tornam-se seus hábitos.
Mantenha seus hábitos positivos,
porque seus hábitos tornam-se seus valores.
Mantenha seus valores positivos,
porque seus valores...
Tornam-se seu destino”

Mahatma Gandhi

Pietzsch, D.A. **Dimensionamento de um sistema VRF e análise energética para uma escola**. 2012. 15 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

Resumo

O presente trabalho buscou dimensionar um sistema de ar condicionado do tipo VRF (fluxo refrigerante variável) para a Escola de Engenharia Nova da UFRGS, para isso foi utilizado o software de simulações termo energéticas *EnergyPlus*. Além de dimensionar o sistema, também foram feitas propostas para redução do consumo anual de energia, tais como películas nos vidros, lâmpadas LED e controles de iluminação. Também foram realizadas análises do preço de investimento das soluções e seu possível tempo de retorno (*Payback*). Ao final do trabalho a combinação controles de iluminação e películas 50 mostrou ser a solução energética ideal, reduzindo em 20% o consumo anual de energia elétrica da escola.

Palavras chave: *EnergyPlus*, simulações termo energéticas, VRF, LED, Películas, Controles de iluminação, *Payback*

Pietzsch, D.A. **Sizing of a VRF system and energy analysis for a school** 2012. 15 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

Abstract

This work presents a VRF (Variable Refrigerant Flux) air conditioning system sizing for UFRGS New Engineering School. To do this a thermal-energetic simulation software called EnergyPlus was used. In addition to sizing the system, proposals to reduce the annual energy consumption like films on glass, LED lights and lighting controls were also made. Quotations and the possible payback were made for these proposals. At the end of simulations, the combination of lighting controls and Silver 50 films showed to be the ideal solution, reducing 20% of school annual energy consumption.

Key words: *EnergyPlus, thermal-energetic simulation, VRF, LED, Films, lighting controls, Payback*

Sumário

1. Introdução	1
2. Objetivo	1
3. Revisão Bibliográfica.....	1
4. Ferramentas Utilizadas	2
4.1. Google SketchUp 8 e OpenStudio	2
4.2. EnergyPlus	2
4.2.1. Modo de Funcionamento do <i>Energy Plus</i>	2
4.3. Cálculo de Retorno do Investimento (<i>Payback</i>).....	3
5. Apresentação do Problema.....	4
5.1. Dimensionamento do Sistema de Ar Condicionado.....	4
5.2. Edifício Base	4
5.3. Características Construtivas	5
5.4. Cargas Térmicas Internas	5
5.4.1. Pessoas.....	5
5.4.2. Iluminação.....	5
5.4.3. Equipamentos.....	5
5.4.4. Infiltrações.....	6
5.5. Sistema de Ar Condicionado.....	6
5.6. Cronogramas de Ocupação	6
5.7. Dias de Projeto	6
5.8. Arquivo Climático	6
5.9. Seleção de Equipamentos.....	6
5.10. Consumo Base	7
6. Modificações Propostas.....	7
6.1. Películas nos Vidros	7
6.2. Persianas Internas	7
6.3. Lâmpadas LED.....	7
6.4. Controle de Iluminação	8
7. Análises e Resultados.....	8
7.1. Películas e Persianas	8
7.2. Lâmpadas LED.....	9
7.3. Combinação LED e Películas ou Persianas.....	9
7.4. Controle de Iluminação	10
7.5. Combinação Controle de iluminação e Películas ou Persianas.....	11

8. Tempo Retorno do Investimento (<i>Payback</i>).....	12
8.1. Preço da Energia Elétrica	12
8.2. Taxa de Juros	12
8.3. Preço do sistema de Ar Condicionado	12
8.4. Retorno de investimento em Películas	12
8.5. Retorno de Investimento em Persianas	12
8.6. Retorno de investimento em Lâmpadas LED.....	13
8.7. Retorno de investimento em Lâmpadas LED e Película Bronze 20.....	13
8.8. Retorno de investimento em controle de iluminação	13
8.9. Retorno de investimento em controle de iluminação e película Silver 50 13	
9. Comparação Final:	14
10. Conclusões	14
11. Referências.....	15
Apêndice I	16

1. Introdução

É cada vez mais frequente se falar em desenvolvimento sustentável e preservação das reservas naturais, em especial pelo expressivo crescimento populacional em todo o planeta e pelo consumo desenfreado de recursos naturais com a aceleração do desenvolvimento mundial, o estudo da eficiência energética de edificações se faz cada vez mais necessário.

No ramo da construção civil, os edifícios são uns dos maiores consumidores de bens naturais, com isso engenheiros e arquitetos têm oportunidades para colocar em prática ações que reduzam a diminuição das reservas naturais. Medidas como utilização de um sistema de ar-condicionado com menor consumo de energia, melhor aproveitamento da luz natural, adoção de lâmpadas com maior eficiência energética, são apenas algumas das diversas possibilidades de redução do consumo energético.

Soluções que visam a eficiência energética são cada vez mais valorizadas, não apenas por seguirem o caminho da sustentabilidade, mas também por apresentarem redução de custos com energia. Aplicá-las em uma grande edificação de significativa demanda energética, como a Escola de Engenharia Nova, não apresenta somente um atrativo econômico, mas também ajuda a preservar, ainda que em pequena parcela, nossos recursos naturais.

2. Objetivo

O presente estudo objetiva dimensionar um futuro sistema de ar condicionado, do tipo VRF (fluxo refrigerante variável), para a Escola de Engenharia Nova da UFRGS. Será realizada também uma análise energética da edificação para avaliar o consumo energético anual e propor melhorias para redução do mesmo, tais como controle de iluminação natural e películas nas janelas. Em uma etapa final, será apresentado o tempo de retorno do possível investimento (*payback*), a fim de demonstrar a viabilidade econômica do projeto. Para isso, serão utilizados os Softwares *EnergyPlus* (2012) e *Google SketchUp* (2012), juntamente com o *plug-in OpenStudio* (2012).

3. Revisão Bibliográfica

Para a revisão bibliográfica, foram de extrema importância consultas realizadas aos trabalhos de diplomação realizados anteriormente por outros colegas, em todos eles foram feitas simulações termo energéticas em edificações diversas, utilizando as mesmas ferramentas computacionais que o presente trabalho.

Primeiramente, segundo Carotenuto (2009) os grandes responsáveis pelo consumo de energia em uma edificação de elevada inércia térmica são os equipamentos, seguidos pela iluminação interna e sistema de ar condicionado. Foi possível ver isso claramente na realização deste trabalho.

Souza, W. B., 2010, comparou a eficiência energética entre um sistema de ar condicionado por água gelada com o sistema VRF aplicado a um dos prédios históricos da UFRGS e concluiu que o sistema VRF foi significativamente mais eficiente que o de água gelada.

Pozza, F., 2011, substituiu o sistema de climatização com sistema *Split* de uma residência, localizada em uma das zonas mais frias do Brasil, pela tecnologia VRF e concluiu que o gasto de energia do sistema de ar condicionado obteve uma redução de 32,8%.

Stein, T.S., 2011, avaliou um edifício da cidade de Porto Alegre, buscando economia de energia e conforto térmico. Ele substituiu o sistema de água gelada existente na edificação pelo sistema VRF. Pôde concluir que a utilização de vidros com alto desempenho termo energético, um bom aproveitamento da luz natural,

combinados com a substituição do sistema de ar condicionado resultou em grande redução do consumo energético do prédio.

Ferronato, J. L. H., 2011 analisou a fachada norte do prédio da arquitetura da UFRGS que sofria com excessivo calor devido a sua grande área de janelas. Concluiu que com a utilização de películas, controle de iluminação nos ambientes, somados a diferentes combinações de sombreamento externo nas fachadas, conseguiu reduzir o efeito do sol na fachada e ainda reduzir o consumo energético da edificação.

4. Ferramentas Utilizadas

4.1. Google SketchUp 8 e OpenStudio

O software *Google SketchUp 8* é um programa de propriedade da *Google* disponibilizado gratuitamente em sua versão mais simples. Ele permite a modelagem 3D e torna-se relevante ao projeto quando é usado em conjunto com o *plug-in OpenStudio*. Este *plug-in* encontra-se atualmente na versão 1.0.7 e permite que o usuário utilize as ferramentas padrões de desenho do *Google SketchUp* para criar e editar zonas no *EnergyPlus*, adequando a modelagem 3D a linguagem deste programa. O *plug-in* é distribuído gratuitamente através da página do Departamento de Energia dos EUA (DOE).

4.2. EnergyPlus

O *EnergyPlus* é o programa oficial de simulação de edificações do Departamento de Energia dos EUA (DOE), dedicado a fazer simulações tendo em vista o comportamento térmico e o consumo energético da edificação. O programa é distribuído gratuitamente através da página do DOE, sendo utilizada neste trabalho a versão 7.0.0.

4.2.1. Modo de Funcionamento do *Energy Plus*

A equação do balanço geral de energia das zonas é mostrada abaixo:

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z) + \dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z) + \dot{m}_{sys} C_p (T_{sup} - T_z) \quad (1)$$

Onde $C_z \frac{dT_z}{dt}$ é a energia acumulada na zona térmica; $\sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i$ é o somatório das cargas internas do ambiente; $\sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z)$ é o fluxo de calor nas superfícies da zona; $\dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z)$ é fluxo de calor do ar de infiltração; $\sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z)$ é o somatório dos fluxos de calor do ar de outras zonas e $\dot{m}_{sys} C_p (T_{sup} - T_z)$ é o fluxo de calor gerado pelo sistema de ar condicionado.

Quando o ambiente for condicionado o balanço de energia apresentado pela equação (1) deve ser nulo, ou seja, o termo referente ao fluxo de calor do aparelho de ar condicionado deverá anular o somatório dos demais termos. A equação (2) apresenta o cálculo da carga térmica líquida da zona:

$$\dot{Q}_{load} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z) + \dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z) \quad (2)$$

A transmissão de calor através das superfícies é calculada por funções de transferência (*CTF – Conduction Transfer Function*). As equações (3) e (4) mostram a forma básica de de um conjunto de CTFs, para o fluxo de calor interno e externo, respectivamente.

$$q''_{ki}(t) = -Z_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Z_j T_{i,t-j\delta} + Y_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q''_{ki,t-j\delta} \quad (3)$$

$$q''_{ko}(t) = -Y_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{i,t-j\delta} + X_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} X_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q''_{ko,t-j\delta} \quad (4)$$

Onde, X_j é o coeficiente CTF externo, $j=0,1,\dots,nz$; Y_j é o coeficiente CTF de condução na superfície, $j=0,1,\dots,nz$; Z_j é o coeficiente CTF interno, $j=0,1,\dots,nz$; Φ_j é o coeficiente CTF do fluxo de calor, $j=0,1,\dots,nq$; T_i é a temperatura da face interna da superfície; T_o é a temperatura da face externa da superfície; q''_{ki} é o fluxo de calor por condução na face interna da superfície e q''_{ko} é o fluxo de calor por condução na face externa da superfície;

Os coeficientes das equações CTF são constantes que precisam ser determinadas uma única vez, para cada tipo de superfície. A determinação dos coeficientes é feita resolvendo-se as equações para um fluxo de calor conhecido. A solução é determinada agrupando-se os conjuntos de CTFs em matrizes, como mostrado em (5).

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} T_1 \\ \vdots \\ T_n \end{bmatrix} = [\mathbf{A}] \begin{bmatrix} T_1 \\ \vdots \\ T_n \end{bmatrix} + [\mathbf{B}] \begin{bmatrix} T_i \\ T_o \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} q''_i \\ q''_o \end{bmatrix} = [\mathbf{C}] \begin{bmatrix} T_1 \\ \vdots \\ T_n \end{bmatrix} + [\mathbf{D}] \begin{bmatrix} T_i \\ T_o \end{bmatrix}$$

Onde A, B, C e D são os coeficientes a serem determinados. As matrizes de equações são resolvidas através de aproximações por diferenças finitas.

4.3. Cálculo de Retorno do Investimento (*Payback*)

O período de *Payback* é o tempo necessário para que o valor dos fluxos de caixa previstos e acumulados seja igual ao valor inicialmente investido. Ou seja, é o tempo que um projeto leva para se pagar.

É um dos métodos mais simples de avaliação, porém é muito utilizado por empresas, por incorporar riscos e proporcionar às mesmas, a escolha de projetos que retornem o capital investido o quanto antes. A equação 6 mostra como o *Payback* pode ser calculado.

$$A = \sum_{n=0}^{n-x} \frac{B}{(1+i)^n} \quad (6)$$

Onde **A** é o valor inicial do investimento, **B** é o retorno (anual, mensal, diário) esperado, **i** é a taxa de juros esperada (anual, mensal, diária) e **n** é o tempo (anos, meses, dias). Para este projeto o tempo é considerado em anos e a taxa de juros é a inflação anual.

5. Apresentação do Problema

O atual prédio da Escola de Engenharia Nova da UFRGS não conta com um sistema de ar condicionado em todos os ambientes necessários. Pretende-se, em uma reforma, condicionar todas as salas necessárias para um maior conforto dos alunos e funcionários. Atualmente as salas condicionadas contam com aparelhos *Split* convencionais ou de parede, o que polui a fachada do prédio com diversas máquinas externas, conforme a figura 5.1.



Figura 5.1: Situação atual da fachada norte

Como após a reforma a fachada do prédio deverá ficar limpa de máquinas aparentes, buscou-se um sistema onde as unidades externas, ou condensadoras, sejam acopladas à várias unidades internas ao mesmo tempo, resolvendo assim o problema da fachada. Além disso, há também a necessidade de cada sala contar com sua própria unidade interna, ou evaporadora, pois devido a grande diversidade dos usos das salas (aula, laboratórios, gabinetes) pode haver discordância entre os usuários sobre quando, ou como utilizar o sistema de condicionamento de ar. Devido a essa restrição descartou-se a utilização de um sistema de dutos, pois este não possibilita o controle individual por zona. Visando essas restrições e baseado em estudos feitos em monografias anteriores, adotou-se o sistema do tipo VRF (fluxo refrigerante variável) que além de atender as exigências, apresenta um reduzido consumo energético quando comparado a outros sistemas.

Outro presente problema esta na fachada norte do prédio, que sofre com uma grande incidência solar devido a grande superfície de vidros pela qual é composta. Isto resulta em problemas de aquecimento e de ofuscamento da visão devido ao excesso de calor e luz respectivamente. O alto consumo energético da edificação é outro fator a ser combatido.

5.1. Dimensionamento do Sistema de Ar Condicionado

Para dimensionar o sistema de ar condicionado é necessária uma série de dados de entrada, além do modelo físico que é feito no *GOOGLE SKETCHUP (2011)* em conjunto com o *Plugin OPENSTUDIO (2011)*.

5.2. Edifício Base

O modelo inicial tem como base o prédio da Engenharia Nova da UFRGS e foi simulado do primeiro ao sétimo pavimento (ver figura 5.2), com exceção do segundo

(biblioteca) e do bloco norte do quinto pavimento, pois estes já contam com sistemas de ar condicionado adequados. Todos os pavimentos simulados contam com seu próprio sistema VRF, sendo utilizadas duas unidades condensadoras para o primeiro pavimento, uma para o quinto, e quatro para os demais pavimentos. A área total condicionada é de 5740 m².

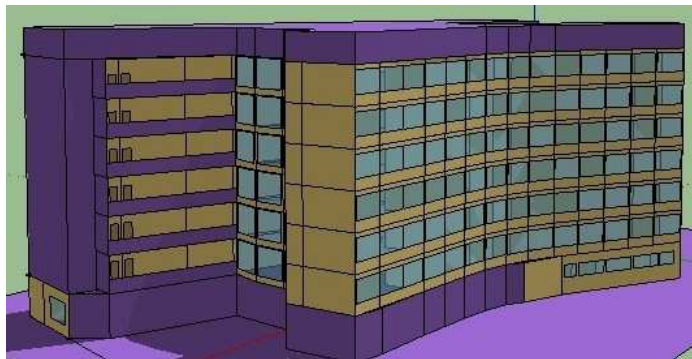


Figura 5.2: Modelo utilizado na simulação

5.3. Características Construtivas

As paredes externas são compostas com 300 mm de tijolo maciço com 25 mm de reboco em ambos os lados. As paredes internas são compostas de tijolo maciço de 100 mm de espessura com 25 mm de reboco em ambos os lados. O piso do primeiro pavimento é composto por 300 mm de tijolo maciço (para simular a terra abaixo do piso) e concreto pesado com 300 mm. Os pisos dos pavimentos superiores são compostos por concreto pesado com 100 mm de espessura. A cobertura é composta por concreto pesado de 100 mm de espessura e isolamento térmico. As janelas externas possuem vidros claros com espessura de 3 mm.

5.4. Cargas Térmicas Internas

As cargas térmicas internas correspondem a fontes de calor que são liberadas para os ambientes. Essa liberação interna de calor é atribuída aos equipamentos internos, pessoas, iluminação e infiltração.

5.4.1. Pessoas

Para a ocupação das pessoas foi realizado uma avaliação em cada zona para se obter um valor mais próximo da realidade. Considerou-se que cada pessoa dissipa 120 W com fração radiante igual a 42 %, baseados nas recomendações da ASHRAE (2005).

5.4.2. Iluminação

Para iluminação, baseado nas recomendações da ASHRAE (2005), foi adotada uma taxa de 15 W/m², com fração radiante igual a 37 % e fração visível (eficiência da lâmpada) de 18 %. As lâmpadas são do tipo fluorescente de tubo.

5.4.3. Equipamentos

Para os equipamentos também foi realizado um avaliação zona a zona, pois estes variam muito em toda a edificação. Para todos eles a fração radiante utilizada foi de 30 %, baseado nas recomendações da ASHRAE (2005).

5.4.4. Infiltrações

Para infiltrações, baseado nas recomendações da ASHRAE (2005), considerou-se em todos os ambientes uma taxa de 0,5 trocas de ar por hora do volume ambiental.

5.5. Sistema de Ar Condicionado

O sistema de ar condicionado adotado foi o VRF (fluxo refrigerante variável). Este sistema possui semelhança com aos tradicionais *Split*, porém para uma única condensadora é possível acoplar diversas evaporadoras. O VRF ainda gera grande economia de energia, pois possui componentes eletrônicos que permitem variar a vazão de refrigerante de acordo com a carga térmica instantânea de cada zona, fazendo com que a condensadora use menos potência. Foram utilizadas duas unidades condensadoras para o primeiro pavimento, uma para o quinto, e quatro para os demais pavimentos.

5.6. Cronogramas de Ocupação

Para realizar as simulações é necessário informar a frequência de ocupação e utilização das pessoas, lâmpadas, equipamentos e o sistema de ar condicionado atuantes no prédio. O cronograma (*Schedule*) é feito colocando-se valores de 0 (ninguém ou nada) a 1 (tudo ou todos) para cada hora de todos os dias da semana, incluindo finais de semana e feriados.

5.7. Dias de Projeto

Para dimensionar o sistema de ar condicionado, ou seja, determinar as potências de refrigeração e aquecimento, são utilizados os dias de projeto que são dias definidos pela ASHRAE (2005) como sendo os mais críticos durante o ano todo, isto é, aqueles que irão exigir a maior potência do ar condicionado, sendo eles 21, 22, 23 e 24 de janeiro e 21, 22, 23 de julho. Os meses de janeiro e julho são os escolhidos por apresentarem as maiores temperaturas de verão e inverno respectivamente. Para as temperaturas de controle do termostato considerou-se 22 °C para o inverno e 25 °C para o verão.

5.8. Arquivo Climático

Para a simulação anual o programa utiliza um arquivo climático, que é uma compilação de medições por 12 anos ou mais, e montagem estatística de duas formas, TRY (*Test Reference Year*) ou TMY (*Test Meteorological Year*). São compostos por medições horárias ao longo de um ano, o que significa 8.760 dados horários, de temperatura, umidade e velocidade do ar, radiação solar total e difusa, direção do vento e outras. Na montagem do arquivo TRY é escolhido o ano mais representativo entre os medidos, resultando em um ano que ocorreu, e na montagem TMY são escolhidos os meses mais representativos entre os anos medidos, e o ano resultante é uma conjugação de meses de anos diferentes, sendo um ano que não existiu. Para este trabalho utilizou-se o TMY.

5.9. Seleção de Equipamentos

Com todas as variáveis de entrada definidas é possível simular e definir as potências das máquinas internas e externas do sistema de ar condicionado. Os resultados obtidos e as máquinas selecionadas para cada zona encontram-se no Apêndice A.

5.10. Consumo Base

Para se obter um padrão de comparação foi calculado o consumo energético anual do prédio base, a figura 5.4 ilustra a distribuição do consumo referente a cada fator que consome energia. Para o prédio considerou-se o sistema de ar condicionado VRF e as persianas das janelas sempre abertas.

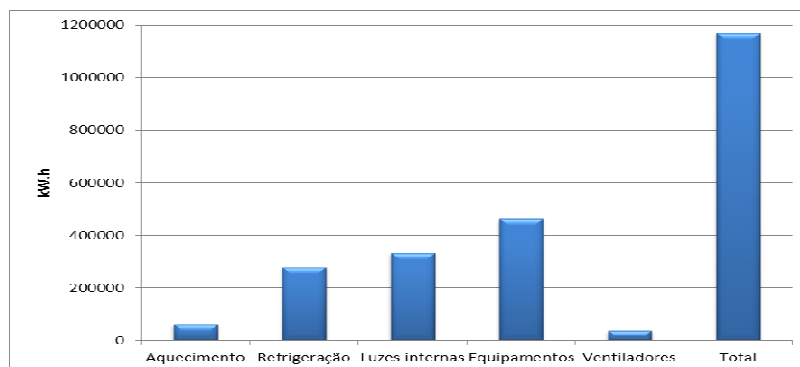


Figura 5.4: Consumo Energético Anual Base

O consumo energético anual da edificação está em torno de 1.200.000,00 kW•h, sendo a maior contribuição por parte dos equipamentos internos (computadores, máquinas, aparelhos de laboratório) com 39 %, seguido pelas luzes internas com 29 %, refrigeração com 24 %, aquecimento com 5 % e por último os ventiladores com 3 %.

6. Modificações Propostas

Visando reduzir o consumo energético da escola, foram avaliadas diversas modificações em relação ao prédio atual. A seguir uma breve descrição das modificações propostas.

6.1. Películas nos Vidros

As películas diminuem a incidência solar nas salas, diminuindo assim a potência necessária para refrigerar a sala (verão). Entretanto, no inverno tem-se o efeito contrário, ou seja, elas fazem com que o ar condicionado use mais potência para aquecer a sala. A iluminação dos ambientes também diminui, visto que as películas também bloqueiam a incidência luminosa. Foram testados três tipos de películas diferentes com 50, 35 e 20 % de transmissão luminosa e 40, 25 e 10% de transmissão de calor respectivamente. O número que aparece no nome das películas é referente à transmissão luminosa.

6.2. Persianas Internas

As persianas têm a mesma função das películas, porém, elas permitem o usuário abrir ou fecha-las de acordo com sua vontade ou necessidade. As persianas escolhidas são constituídas de alumínio com espessura de 25mm

6.3. Lâmpadas LED

As lâmpadas LED têm sido cada vez mais utilizadas quando se busca eficiência energética. É conhecido que sua eficiência é 80 % maior que as lâmpadas incandescentes e 50 % maior do que as lâmpadas fluorescentes. Sua vida útil pode chegar até 50.000 horas, o que reduz o gasto com trocas de lâmpadas. Por se tratar

de uma tecnologia nova, seu preço ainda é elevado quando comparado com os dos outros tipos de lâmpadas.

6.4. Controle de Iluminação

O controle de iluminação (dimerização) são controles eletrônicos que ajustam a potência das lâmpadas conforme a quantidade de luz natural que entra no ambiente. Se a luz natural for suficiente para iluminar toda a sala, o sistema pode até desligar as lâmpadas, gerando assim uma grande economia de energia. Para a simulação considerou-se um *setpoint* de 500 lux, que significa dizer que quanto mais perto a iluminação natural chegar a esse valor, menos potência serão exigidas das lâmpadas. Foram utilizados de 1 a 2 controles por sala, variando conforme a área das mesmas. As películas e persianas fechadas prejudicam o desempenho desse sistema devido a sua baixa transmissão luminosa.

7. Análises e Resultados

7.1. Películas e Persianas

Primeiramente analisou-se a variação do consumo de energia utilizando-se três tipos de películas da empresa SolarGard (2012), ou utilizando persianas de alumínio sempre fechadas. Os resultados obtidos podem ser observados na tabela 7.1.

Tabela 7.1: Redução de consumo energético conforme películas e persianas

	Original [kW•h/ano]	Película [kW•h/ano]	Redução em %
Silver 50	1170292	1158765	1,0
Silver 35	1170292	1154881	1,3
Bronze 20	1170292	1150960	1,7
Persianas Sempre Fechadas	1170292	1155675	1,3

Entre as películas, a Bronze 20 apresentou a maior redução no consumo de energia, com redução de 1,7 % do consumo total. As persianas, por sua vez, reduziram 1,3 % da energia anual consumida. A figura 7.1 mostra a variação do consumo de energia anual utilizando a película Bronze 20 ou Persianas.

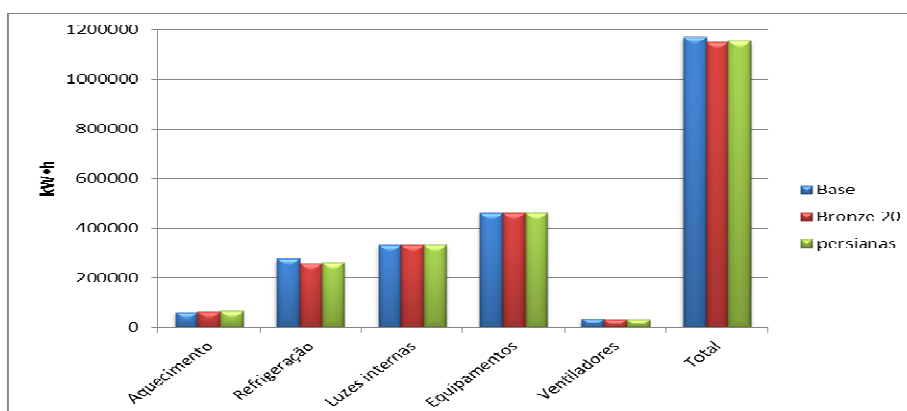


Figura 7.1: Redução de consumo energético anual via películas e persianas

A película Bronze 20 apresentou a principal redução no gasto de energia por refrigeração em 7,2 % contra 6,3 % das persianas. Ao reduzir a potência necessária

para refrigeração é possível selecionar novamente os equipamentos, evitando assim gastos por super dimensionamento. Contudo, houve um aumento de 6 % no aquecimento contra 9 % das persianas, devido à redução da entrada de calor solar nas salas. Ainda pode se observar uma diminuição de 8 % no consumo elétrico dos ventiladores contra 6 % das persianas, devido ao menor uso dos condicionadores de ar. A baixa redução de consumo energético anual total (1,7 % e 1,3 %) utilizando estas soluções se deve pelo fato da maior parcela da energia gasta ser dominada pelos equipamentos internos e iluminação e não ao sistema de ar condicionado.

7.2. Lâmpadas LED

Na simulação com lâmpadas LED foram alteradas as eficiências das lâmpadas de 18 % para 36 % e a taxa de iluminação passou de 15 para 9 W/m². A figura 7.2 mostra a redução do consumo energético obtido com esta solução em comparação com o prédio com as persianas sempre fechadas.

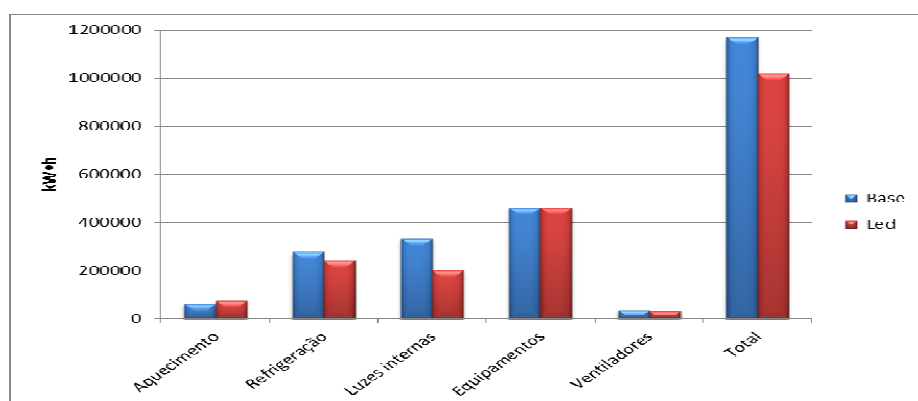


Figura 7.2: Variação de consumo energético anual utilizando lâmpadas LED

O uso das lâmpadas LED apresentou uma redução do consumo de energia por iluminação interna de 40 %. A energia gasta para refrigerar os ambientes foi reduzida em 13 %. Contudo, devido a menor quantidade de lâmpadas necessária e a maior eficiência das mesmas, a energia necessária para aquecer os ambientes teve um aumento de 21 %, pois agora menos calor é liberado pelas lâmpadas. O consumo total da edificação apresentou uma baixa de 13 %. Ao reduzir a potência necessária para refrigeração é possível selecionar novamente os equipamentos, evitando assim gastos por super dimensionamento.

7.3. Combinação LED e Películas ou Persianas

Após a simulação das lâmpadas LED buscou-se integrar esta solução com o uso da película mais relevante, Bronze 20, ou o uso das persianas sempre fechadas. A figura 7.3 mostra a variação do consumo energético utilizando películas ou persianas em conjunto com as lâmpadas LED.

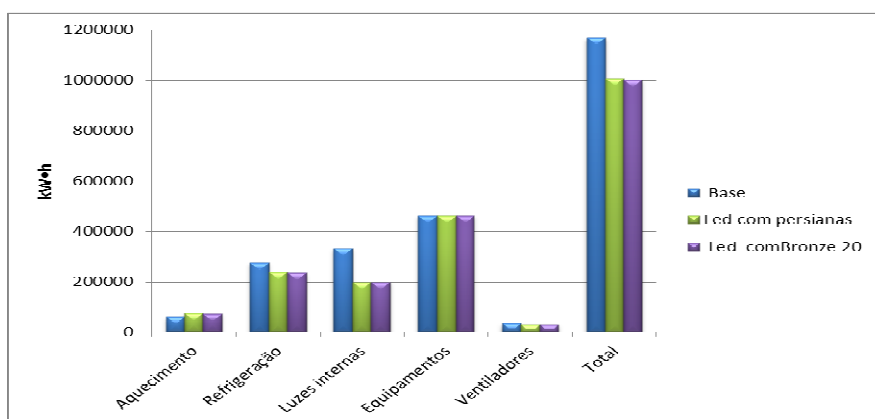


Figura 7.3: Consumo de energia anual combinando LED e Películas ou Persianas

Com relação ao prédio base a combinação LED e película Bronze 20 mostrou-se mais eficiente, 15 % na energia gasta por refrigeração e reduzindo 14,3 % do consumo total do prédio contra 13,8 % considerando as persianas sempre fechadas.

7.4. Controle de Iluminação

Os controles de iluminação (dimerização) foram aplicados em todos os ambientes que possuem janelas. Cada controle pode atender uma área de até 35 m², uma vez que área da sala ultrapasse este valor são necessários mais pontos de controle. Por limitações do *ENERGYPLUS*, o número de controles não pôde exceder a dois. Como *setpoint* foi definido 500 Lux medidos a 0,8 m do solo, altura equivalente a de mesas comuns de escritório. A figura 7.4 mostra a redução consumo de energia em comparação com o prédio base.

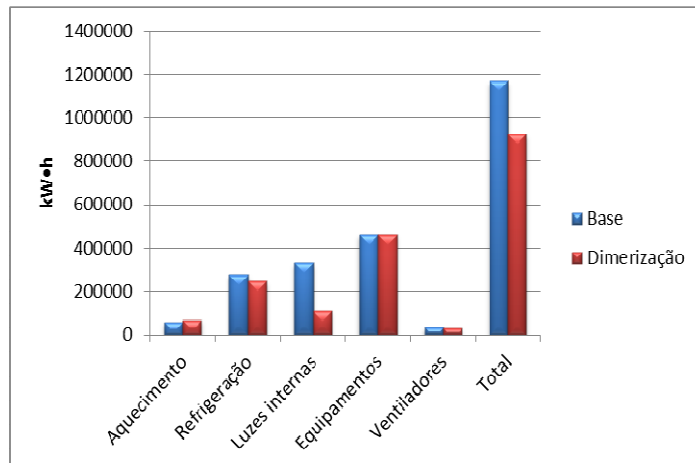


Figura 2.4: Redução de gasto energético anual devido a dimerização

Esta solução apresentou uma redução de energia gasta na iluminação interna de 66 %. O consumo energético por refrigeração teve uma baixa de 11 %, enquanto o consumo dos ventiladores foi reduzido em 9 %. O aquecimento teve seu gasto de energia aumentado em 14 %, devido a menor utilização das lâmpadas e consequentemente menor calor liberado por elas. De maneira geral, esta solução apresentou uma redução de 21 % no consumo energético anual da edificação. Ao reduzir a potência necessária para refrigeração é possível selecionar novamente os equipamentos, evitando assim gastos por super dimensionamento.

7.5. Combinação Controle de iluminação e Películas ou Persianas

Após simular o controle de iluminação (dimerização) buscou-se integrar o mesmo com o uso de películas ou persianas sempre fechadas. A figura 7.5 apresenta a comparação entre as diferentes possibilidades.

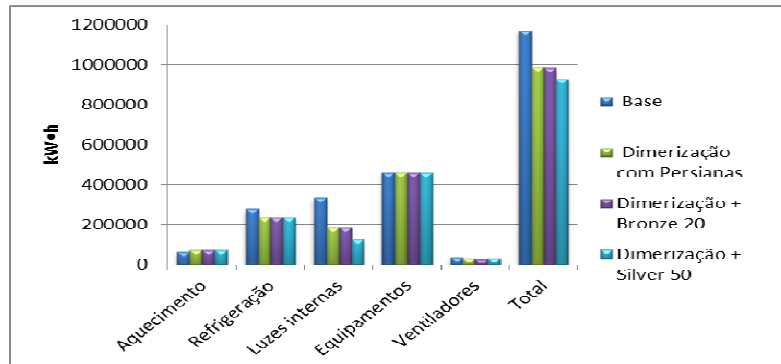


Figura 7.5: Consumo de energia anual utilizando dimerização e películas ou persianas

A película mais eficiente para este caso passa a ser aquela que transmite mais luz, ou seja, a Silver 50. Comparando com o prédio base, a combinação dimerização e película Silver 50, apresentou uma redução de 15 % na refrigeração, 62 % na iluminação interna e 20,5 % no consumo de energia total anual da edificação. Analisando a figura acima é possível perceber que as películas ou persianas fechadas prejudicam a dimerização, pois elas diminuem a entrada de luz natural nas salas, exigindo mais potência da iluminação interna. As figuras 7.6 e 7.7 ilustram distribuição da iluminação natural utilizando ou não películas ou persianas.

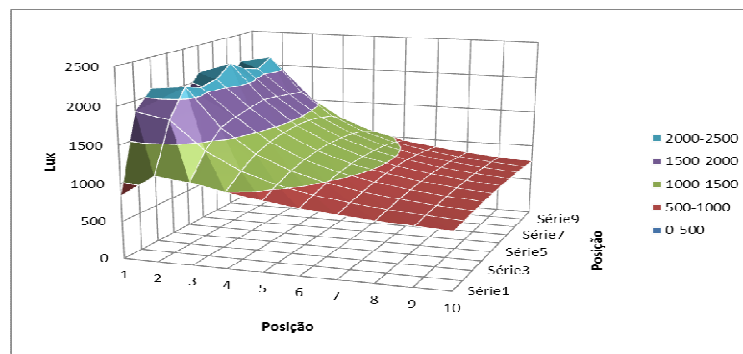


Figura 7.6 Distribuição da iluminação natural sem películas ou persianas

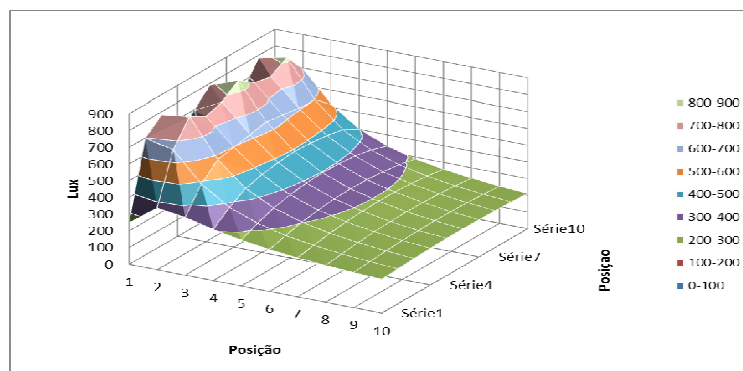


Figura 7.7: Distribuição da iluminação natural com película Bronze 20

Ambos os mapas de iluminação foram tirados no mesmo dia e horário, 21 de março às 15 horas (equinócio), conforme orientação da ASHRAE (2005). É possível perceber que quando não se utiliza película a sala fica muito mais iluminada, com todos os pontos acima do *setpoint* de 500 lux, neste caso as lâmpadas estariam completamente desligadas. Porém, com a adição da película a iluminação natural caiu drasticamente, quase nenhum ponto da sala atingiu o *setpoint* especificado, neste caso as lâmpadas estariam parcialmente ligadas.

8. Tempo Retorno do Investimento (*Payback*)

Para validar o investimento em todas essas possíveis soluções foram calculados os *Payback* de todas as principais melhorias.

8.1. Preço da Energia Elétrica

Para se obter a economia financeira referente a redução do gasto energético é necessário saber o quanto se paga pela energia. Atualmente o preço da energia elétrica para prédios públicos esta em torno de 0,49 R\$/ kW•h (CEEE, 2012).

8.2. Taxa de Juros

A taxa de juros considerada foi referente a inflação anual. A inflação brasileira deve girar em torno de 6 % até 2016 (Estadão, 2012). Sendo essa a taxa de juros utilizada no calculo.

8.3. Preço do sistema de Ar Condicionado

O sistema de ar condicionado, incluindo máquinas, controles, tubulações e instalação, foi orçado pela empresa Hitachi (2012) no valor de 1,7 milhões de reais. A potência total de refrigeração necessária para a edificação é de 1.229 kW, ou 350 TR (toneladas de refrigeração). Assim pode-se admitir um custo de 4.857,00 R\$ por TR.

8.4. Retorno de investimento em Películas

Todas as películas simuladas foram orçadas pela empresa Insulfilm (2012) em 41 R\$/m², incluindo instalação. A área somada das janelas é de 1.380 m², totalizando um investimento de R\$ 55.200,00. A película com melhor desempenho quando empregada sozinha, Bronze 20, gera uma economia de 9.500,00 R\$ por ano. Além disso, esta solução apresenta uma redução de 8 % na potência necessária para refrigeração, ou seja, 28 TR, o que em economia financeira representa uma redução no gasto com a compra do sistema de ar condicionado de R\$ 137.000,00.

Portanto, esta solução se paga na compra dos equipamentos, desde que seja considerada a redução na potência de refrigeração. Caso contrário, o tempo de retorno para este investimento, calculado conforme o 4.3, é de sete anos.

8.5. Retorno de Investimento em Persianas

As Persianas foram orçadas pela empresa Bela Art (2012) em R\$ 130.000,00 para 164 módulos instalados e garantia de 2 anos. A economia gerada com esta solução é de R\$ 7.162,00 por ano. Além disso, esta solução reduz em 6,7% a potência necessária para os condicionadores de ar, ou seja, 23,5 TR, o que representa uma redução no gasto com a compra do sistema de ar condicionado de R\$ 114.140,00.

Portanto, considerando a economia gerada com a redução da potência do sistema de ar condicionado, o *Payback*, calculado conforme o item 4.3, é de 2 anos e 6 meses.

8.6. Retorno de investimento em Lâmpadas LED

As lâmpadas LED foram orçadas pela empresa Volun (2012), para um total de 2.665 lâmpadas de 20 W, em R\$ 130.290,00, com garantia de qualidade de 3 anos e incluindo frete. A economia gerada com esta solução é de R\$ 73.427,00 por ano. Além disso, esta solução apresenta uma redução de 10,5% na potência necessária para refrigeração, ou seja, 36,8 TR, o que em economia financeira representa uma redução no gasto com a compra do sistema de ar condicionado de R\$ 178.500,00.

Portanto, esta solução se paga na compra dos equipamentos, desde que seja considerada a redução na potência de refrigeração. Caso contrário, o tempo de retorno para este investimento, calculado conforme o 4.3, é de dois anos.

8.7. Retorno de investimento em Lâmpadas LED e Película Bronze 20

Somando os orçamentos das lâmpadas LED com o das películas, se obtém um investimento de R\$ 185.490,00. A economia gerada com esta solução é de R\$ 81.877,00 por ano. Além disso, esta solução apresenta uma redução de 12% na potência necessária para refrigeração, ou seja, 42 TR, o que em economia financeira representa uma redução no gasto com a compra do sistema de ar condicionado de R\$ 204.000,00.

Portanto, esta solução se paga na compra dos equipamentos, desde que seja considerada a redução na potência de refrigeração. Caso contrário, o tempo de retorno para este investimento, calculado conforme o 4.3, é de dois anos e sete meses.

8.8. Retorno de investimento em controle de iluminação

Os valores médios para os controles de iluminação (dimerização) foram fornecidos pela empresa APS (2012), seu investimento total incluindo lâmpadas, reatores dimerizáveis, controles e instalação é de R\$ 113.000,00. Esta solução gera uma economia de R\$ 120.500,00 por ano, além de uma redução na potência requerida pelo sistema de ar condicionado de 7,5%, ou seja, 26 TR, o que representa uma redução de R\$ 126.000,00 no gasto com a compra dos condicionadores de ar.

Portanto, esta solução se paga na compra dos equipamentos, desde que consideremos a redução na potência do ar condicionado. Caso contrário, o tempo de retorno do investimento, calculado conforme o item 4.3, é de um ano.

8.9. Retorno de investimento em controle de iluminação e película Silver 50

Somando os orçamentos do controle de iluminação com o das películas, se obtém um investimento de R\$170.000,00. A economia gerada com esta solução é de R\$ 118.000,00 por ano. Além disso, esta solução apresenta uma redução de 11,9% na potência necessária para refrigeração, ou seja, 41,5 TR, o que em economia financeira representa uma redução no gasto com a compra do sistema de ar condicionado de R\$ 201.500,00.

Portanto, esta solução se paga na compra dos equipamentos, desde que seja considerada a redução na potência de refrigeração. Caso contrário, o tempo de retorno para este investimento, calculado conforme o 4.3, é de 1 ano e 7 meses.

9. Comparação Final:

A tabela 9.1 mostra uma comparação entre todas as principais soluções.

Tabela 9.1: Comparação dos resultados das simulações

Solução	Variação Consumo ¹ [%]	Variação Preço ² [%]	Payback	Economia [R\$/ano]	Payback relativo
Base	—	—	—	—	x
Persianas	-1,3	1	2 anos e 6 meses	7.200	x
Película Bronze 20	-1,7	-4,8	Na compra	9.500	Referência
LED	-13	-3	Na compra	73.500	3 meses
LED e Película Bronze 20	-14,3	-1	Na compra	81.900	11 Meses
Dimerização e Película Silver 50	-20,5	-1,8	Na compra	118.300	6 Meses
Dimerização	-21	-0,75	Na compra	120.500	8 Meses
¹ Consumo Base: 1,2 milhões kW•h por ano			² Preço Base: R\$ 1,7 milhões		

A coluna *payback* relativo mostra o tempo de retorno dos investimentos em relação à solução mais barata (Uso de películas Bronze 20).

10. Conclusões

Com base na tabela 9.1 é possível concluir que:

- A melhor solução energética é o uso do controle de iluminação (dimerização), com 21 % de redução no consumo de energia anual. A economia anual é de R\$ 120.500,00 /ano. Porém, esta solução não resolve o problema de excesso de incidência solar na fachada norte.
- O uso de películas apresenta melhores resultados energéticos e tempos de retorno do que o uso de persianas.
- A maior redução de custo total do projeto se da com a combinação do sistema de ar condicionado com o uso das películas Bronze 20, reduzindo em 4,8 % o gasto do projeto base.
- Quase todas as soluções tem seu *payback* na compra devido à redução de gasto com a compra do sistema ar condicionado.
- A combinação controle de iluminação (dimerização) e película Silver 50, além de apresentar uma boa redução no consumo (20,5%), melhora a situação da fachada norte que sofre com o excesso de incidência solar e reduz o preço do projeto base em 1,8%. Seu *payback* em relação a solução mais barata é de 6 meses. Sendo esta, portanto, a solução ideal.

11. Referências

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. **ASHRAE Handbook Fundamentals**. Atlanta, 2005.

Companhia Estadual de Energia Elétrica. “**Tarifas para poderes públicos**”. Disponível em: <http://www.ceee.com.br> , Acessado em 20 de Abril de 2012

Carotenuto, A. R.; “**Análise do desempenho termoenergético de um prédio histórico de elevada inércia térmica**”, Dissertação de Mestrado – Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

EnergyPlus 7.0 e OpenStudio 1.0.7 disponível em <http://www.energy.gov> . Acessado em 8 de março de 2012.

EnergyPlus, 2010. “**EnergyPlus Input Output Reference The Encyclopedic to EnergyPlus Input and Output**”, Version 5.0.0.031. Ernest Orland Lawrence Berkeley National Laboratory. Berkeley, USA

Estadão “**Mercado vê inflação de 6% até 2016**” Disponível em www.estadao.com.br , acessado em 20 de maio de 2012.

Ferronato, J. L. H. “**Estudo de alternativas para a fachada de um prédio visando conforto e economia de energia.**” Monografia (trabalho de conclusão do curso de engenharia mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

Hitachi, “**Catálogo Comercial**”, Disponível em www.hitachi.com.br, acessado em 12 Abril de 2012.

Pozza, F., “**Análise térmica e energética de uma edificação residencial climatizada com sistema de fluxo refrigerante variável – VRF**” Dissertação de Mestrado – Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SolarGard “**Filmes para Vidros**” Disponível em www.solargard.com.br, acessado em 5 de Maio de 2012

Souza, W.B., “**Comparação entre dois sistemas de ar condicionado para um prédio histórico**”, Monografia (trabalho de conclusão do curso de engenharia mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010

Stein, T.S., “**Impacto das soluções de arquitetura e climatização no consumo de energia 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, 2011.

Tiago Filomena “**Payback modificado**”, Disponível em www.tiagofilomena.com.br , acessado em 20 de Maio de 2012

Apêndice A

O apêndice traz resultados e avaliações que foram relevantes ao trabalho, porém não essenciais ao desenvolvimento do corpo do trabalho.

A tabela A.1 mostra os equipamentos selecionados para cada zona do prédio.

Tabela 2: Seleção de equipamentos por andar e zona

andar	zona	vazão [l/s]	pot [w]	fcs	máquina	qnt.
1º andar e subsolo	Deposito	31	520	0.80	rpk1,0fsnsm2	1
	Deposito geral	233	3852	0.80	rpk1,5fsnsm2	1
	Gabinete usinagem	253	4264	0.79	rpk2,0fsnsm2	1
	Lab usinagem 1	1350	22360	0.80	rpc4,0fsnb1	2
	Lab usinagem 2	1740	28807	0.80	rpc5,0fsnb1	2
	Lab usinagem 3	817	13630	0.80	rpc5,0fsnb1	1
	Lamed 1	206	3402	0.80	rpk1,5fsnsm2	1
	Lamed 2	266	4403	0.80	rpk2,0fsnsm2	1
	Leme lab ensaios 1	605	11485	0.75	rpc2,0fsnb1	2
	Leme lab ensaios 2	1230	20300	0.80	rpc4,0fsnb1	2
	Leme sala apoio	105	1872	0.77	rpk1,0fsnsm2	1
	Ltm 101	307	5078	0.80	rpk2,0fsnsm2	1
	Ltm 101a	85	1516	0.77	rpk1,0fsnsm2	1
	Sala 113 leme	336	8348	0.68	rpc3,0fsnb1	1
	Sala auxiliar de pesquisas	142	2436	0.79	rpk1,0fsnsm2	1
	Sala auxiliar de pesquisas fundos	84	1511	0.77	rpk1,0fsnsm2	1
	Sala info	230	3965	0.78	rpk1,5fsnsm2	1
	Sala minas 105a	170	3118	0.76	rpk1,5fsnsm2	1
	Sala oficina leme	529	8752	0.80	rpc3,0fsnb1	1
	Sala prensa	479	7930	0.80	rpc3,0fsnb1	1
	Sala prof luiz carlos	200	3315	0.80	rpk1,5fsnsm2	1
	Sala ramiro	196	3241	0.80	rpk1,5fsnsm2	1
	Sala reunioes	91	2225	0.68	rpk1,0fsnsm2	1
	Sala ti 105b	285	4716	0.80	rpk2,0fsnsm2	1
	Subsolo					
	Sala grande		8403		rpc3,0fsnb1	1
	Sala gerador		6393		rpc2,5fsnb1	1
Sala 1		3618		rpk1,5fsnsm2	1	
Máquina externa 1		86300		ras30fsnmb	1	

	Máquina externa 2		103150		ras38fsnmb	1
3º andar	Lms 6	82	1486	0.77	rpk1,0fsnsm2	1
	303	251	4371	0.78	rpk2,0fsnsm2	1
	305	198	3309	0.80	rpk1,5fsnsm2	1
	301b	603	14983	0.68	rpc2,0\rpc2,5fsnb1	1\1
	307 recepcão	116	2032	0.78	rpk1,0fsnsm2	1
	307a	168	2775	0.80	rpk1,0fsnsm2	1
	307b	168	2775	0.80	rpk1,0fsnsm2	1
	307c	168	2784	0.80	rpk1,0fsnsm2	1
	307d	116	2010	0.78	rpk1,0fsnsm2	1
	307e	168	2784	0.80	rpk1,0fsnsm2	1
	307f	117	2017	0.78	rpk1,0fsnsm2	1
	307g	183	3030	0.80	rpk1,5fsnsm2	1
	307h	117	2025	0.78	rpk1,0fsnsm2	1
	307i	250	4134	0.80	rpk2,0fsnsm2	1
	Anfiteatro	2130	52952	0.68	rpc4,0fsnb1\rpc5,0fsnb1	1\3
	Copa	75	1364	0.77	rpk1,0fsnsm2	1
	Copa 306	47	966	0.73	rpk1,0fsnsm2	1
	Deciv 306	194	3656	0.75	rpk1,5fsnsm2	1
	Deposito	100	1699	0.79	rpk1,0fsnsm2	1
	Deposito 306	49	985	0.73	rpk1,0fsnsm2	1
	Lms 1	171	2835	0.80	rpk1,0fsnsm2	1
	Lms 2	151	2499	0.80	rpk1,0fsnsm2	1
	Lms 3	70	1336	0.75	rpk1,0fsnsm2	1
	Lms 4	100	1748	0.78	rpk1,0fsnsm2	1
	Lms 5	191	3166	0.80	rpk1,5fsnsm2	1
	Lms 7	376	7295	0.74	rpk1,5fsnsm2	2
	Sala 301a	447	11090	0.68	rpc4,0fsnb1	1
	Sala 304	263	6536	0.68	rpc2,5fsnb1	1
	Sala 308	153	2531	0.80	rpk1,0fsnsm2	1
	Sala 308a	162	2681	0.80	rpk1,0fsnsm2	1
	Sala 308c	161	2667	0.80	rpk1,0fsnsm2	1
	Sala 308d	161	2671	0.80	rpk1,0fsnsm2	1
	Sala 308e	162	2675	0.80	rpk1,0fsnsm2	1
	Sala 308f	176	2908	0.80	rpk1,0fsnsm2	1
	Sala 308g	178	4424	0.68	rpk2,0fsnsm2	1
	Sala carmen	141	2326	0.80	rpk1,0fsnsm2	1
	Sala de reunioes	157	3904	0.68	rpk1,5fsnsm2	1
	Sala estudos 303	861	19623	0.70	rpc2,0fsnb1\rpc2,5fsnb1	1\2
	Sala raquel	116	1941	0.79	rpk1,0fsnsm2	1
	Secretarias pós	230	4092	0.77	rpk1,5fsnsm2	1
Máquina externa 1		38545		ras14fsnmb	1	
Máquina externa 2		35847		ras14fsnmb	1	

	Máquina externa 3		53375		ras20fsnmb	1
	Máquina externa 4		73317		ras26fsnmb	1
4º andar	Anfiteatro	2130	52961	0.68	rpc4,0\rpc5,0fsnb1	1\3
	Copa	139	2888	0.72	rpk1,0fsnsm2	1
	Gabinete 1 esq	163	2989	0.76	rpk1,0fsnsm2	1
	Gabinete 2 dir	167	2763	0.80	rpk1,0fsnsm2	1
	Gabinete 2 esq	163	2988	0.76	rpk1,0fsnsm2	1
	Gabinete 3 dir	167	2763	0.80	rpk1,0fsnsm2	1
	Gabinete 3 esq	178	3576	0.73	rpk1,5fsnsm2	1
	Gabinete 4	167	2763	0.80	rpk1,0fsnsm2	1
	Gabinete 5	167	2763	0.80	rpk1,0fsnsm2	1
	Gabinete 6	167	2763	0.80	rpk1,0fsnsm2	1
	Lab info 10	139	2888	0.72	rpk1,0fsnsm2	1
	Lab info 9	139	2888	0.72	rpk1,0fsnsm2	1
	Lab instrumentação	153	3123	0.73	rpk1,5fsnsm2	1
	Lab pós desing	306	6946	0.70	rpc2,5fsnb1	1
	Lecog	598	12152	0.73	rpc2,0\rpc2,5fsnb1	1\1
	Pesquisa virtual desing	404	7014	0.78	rpc2,5fsnb1	1
	Sala 401	1220	24612	0.73	rpc3,0fsnb1	3
	Sala 403	801	18743	0.69	rpc3,0\rpc4,0fsnb1	1\1
	Sala 405	781	18430	0.69	rpc3,0\rpc4,0fsnb1	1\1
	Sala 407	781	18430	0.69	rpc3,0\rpc4,0fsnb1	1\1
	Sala 409	513	11445	0.70	rpc2,0\rpc2,5fsnb1	1\1
	Sala 411	943	20921	0.71	rpc4,0fsnb1	2
	Sala aula	406	10082	0.68	rpc2,0fsnb1	2
Sala bolsistas	161	2932	0.77	rpk1,0fsnsm2	1	
Sala professores	266	4739	0.77	rpk2,0fsnsm2	1	
Máquina externa 1		43336		ras16fsnmb	1	
Máquina externa 2		50796		ras18fsnmb	1	
Máquina externa 3		61785		ras22fsnmb	1	
Máquina externa 4		88645		ras32fsnmb	1	
5º andar	Anfiteatro 500	2140	53253	0.68	rpc4,0\rpc5,0fsnb1	1\3
	Empresa junior	240	4399	0.76	rpk2,0fsnsm2	1
	Sala 501	317	7706	0.68	rpc3,0fsnb1	1
	Sala 503	691	14735	0.72	rpc2,5\rpc3,0fsnb1	1\1
	Sala 505	718	15155	0.72	rpc2,5\rpc3,0fsnb1	1\1
	Sala 507	678	14557	0.71	rpc2,5\rpc3,0fsnb1	1\1
	Sala projetos	239	4393	0.76	rpk2,0fsnsm2	1
	Sala suporte	239	4394	0.76	rpk2,0fsnsm2	1
	Máquina externa		118593		ras42fsnmb	1
6º andar	Anfiteatro	2130	52981	0.68	rpc4,0\rpc5,0fsnb1	1\3
	Arquivos copa	52	911	0.78	rpk1,0fsnsm2	1

	Bar	255	5434	0.72	rpk2,0fsnsm2	1
	Ceue computadores	425	8452	0.74	rpc3,0fsnb1	1
	Ceue diretório	256	5338	0.72	rpk2,0fsnsm2	1
	Ceue sala estudos	472	10072	0.72	rpc2,0fsnb1	2
	Cozinha bar	144	2505	0.78	rpk1,0fsnsm2	1
	Feeng	241	4439	0.76	rpk2,0fsnsm2	1
	Gabinete reguly	125	2103	0.79	rpk1,0fsnsm2	1
	Gaf	466	8357	0.77	rpc3,0fsnb1	1
	Lab prototipagem	829	13721	0.80	rpc2,5fsnb1	2
	Lamef sala kiss	254	4209	0.80	rpk2,0fsnsm2	1
	Ldec	255	4611	0.77	rpk2,0fsnsm2	1
	Ldec desir	56	960	0.78	rpk1,0fsnsm2	1
	Ldec rocha	110	1825	0.80	rpk1,0fsnsm2	1
	Pet/ldec	56	960	0.78	rpk1,0fsnsm2	1
	Pos desing e departamento de materiais	407	9354	0.70	rpk1,5\rpk2,0fsnsm2	1\1
	Sala 601	327	7853	0.68	rpc3,0fsnb1	1
	Sala 603	354	8802	0.68	rpc3,0fsnb1	1
	Sala 605	682	14619	0.71	rpc2,5\rpc3fsnb1	1\1
	Sala 607	326	7837	0.68	rpc3,0fsnb1	1
	Sala aquario	219	3755	0.79	rpk1,5fsnsm2	1
	Sala arquivos	104	1724	0.80	rpk1,0fsnsm2	1
	Sala corte	412	6815	0.80	rpc2,5fsnb1	1
	Sala ensaios	246	4509	0.76	rpc2,0fsnb1	1
	Sala espectro	179	3624	0.73	rpk1,5fsnsm2	1
	Sala func	58	1031	0.78	rpk1,0fsnsm2	1
	Sala jogos	485	10256	0.72	rpc2,0fsnb1	2
	Sala lupas	356	5888	0.80	rpk1,0fsnsm2	1
	Sala professores	210	3695	0.78	rpk1,5fsnsm2	1
	Secretaria	209	3466	0.80	rpk1,5fsnsm2	1
	Secretaria pos desing	250	4137	0.80	rpk2,0fsnsm2	1
	Máquina externa 1		34766		ras14fsnmb	1
	Máquina externa 2		49250		ras18fsnmb	1
	Máquina externa 3		51604		ras18fsnmb	1
	Máquina externa 4		88622		ras32fsnmb	1
7º andar	Anfiteatro 700	2130	52984	0.68	rpc4,0/rpc5,0fsnb1	1\3
	Carlos bergmann	241	3990	0.80	rpk1,5fsnsm2	1
	Comgrad	373	6736	0.77	rpk1,0\rpk1,5fsnsm2	1\1
	Copa 2	128	2124	0.80	rpk1,0fsnsm2	1
	Copa	81	1406	0.78	rpk1,0fsnsm2	1
	Deposito	119	1981	0.80	rpk1,0fsnsm2	1
	Gabinete dir	408	7209	0.78	rpk1,0fsnsm2\rpc2,0fsnb1	1\1

Gabinete saulo	219	3617	0.80	rpk1,5fsnsm2	1
Gabinete vice dir	297	5602	0.75	rpk2,0fsnsm1	1
Ldsm	320	6166	0.75	rpc2,5fsnb1	1
Lig	1150	21010	0.76	rpc4,0fsnb1	2
Metalografia	190	3147	0.80	rpk1,5fsnsm2	1
Nmead	620	10263	0.80	rpc2,0fsnb1	2
Quimica	190	3147	0.80	rpk1,5fsnsm2	1
Recepcao	196	3497	0.77	rpk1,5fsnsm2	1
Sala 701	1080	26894	0.68	rpc3,0fsnb1	3
Sala 703	628	15594	0.68	rpc2,5\rpc3,0fsnb1	1\1
Sala 705	574	14261	0.68	rpc2,5fsnb1	2
Sala adm	115	1910	0.80	rpk1,0fsnsm2	1
Sala de estudo mestrado	265	4576	0.78	rpc2,0fsnb1	1
Sala equipamentos	79	1675	0.72	rpk1,0fsnsm2	1
Sala fornos	426	7735	0.77	rpk1,0fsnsm2\rpc2,0fsnb1	1\1
Sala luiz engler	288	4775	0.80	rpk2,0fsnsm2	1
Sala pesquisadores	347	5736	0.80	rpk2,0fsnsm2	1
Secretaria	194	3207	0.80	rpk1,5fsnsm2	1
Secretaria geral	537	8932	0.80	rpc4,0fsnb1	1
Viscolab	259	4288	0.80	rpc2,0fsnb1	1
Máquina externa 1		47485		ras18fsnmb	1
Máquina externa 2		41715		ras14fsnmb	1
Máquina externa 3		62915		ras22fsnmb	1
Máquina externa 4		80349		ras28fsnmb	1

A tabela A.2 mostra as propriedades das películas simuladas.

Tabela A.2: Propriedades das películas

Película	Energia Solar			Luz Visível			Emis. ϵ
	τ %	α %	ρ %	τ %	ρ externa %	ρ interna %	
Vidro Comum	83	9	8	90	9	9	0,84
Silver 50	39	38	23	53	23	22	0,77
Silver 35	25	38	37	34	38	36	0,73
Bronze 20	12	38	50	22	37	36	0,66

Onde τ é a transmissividade; α é a absorvidade; ρ é a refletividade e ϵ é a emissividade.