

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**AVALIAÇÃO DE EDIFICAÇÃO PARA DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
EDIFÍCIOS VERDES**

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

Rodrigo Christophe Marangoni

Orientador: Alberto Hernandez Neto

São Paulo

2007

FICHA CATALOGRÁFICA

Marangoni, Rodrigo Christophe

**Avaliação de edificação para desenvolvimento sustentável:
edifícios verdes / R.C. Marangoni. -- São Paulo, 2007.
56 p.**

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

**1.Edifícios sustentáveis 2.Eficiência energética 3.Climatiza-
ção I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departa-
mento de Engenharia Mecânica II.t.**

RESUMO

Com o problema ambiental cada vez mais em pauta, qualquer iniciativa que vise promover a redução de consumo de recursos não renováveis e a diminuição de emissão de poluentes é extremamente válida. Nesse contexto o trabalho se propõe a estudar a viabilidade técnico econômica de transformar um edifício já existente, no caso o prédio da Reitoria da USP, em um Edifício Verde, um prédio reconhecidamente sustentável com base em definições desenvolvidas pela ASHRAE. Essas definições buscam principalmente reduzir o uso de energia elétrica nos grandes usos finais: climatização do ar, iluminação, elevadores e equipamentos. Para isso, são realizadas simulações através do software EnergyPlus, para calcular as cargas térmicas e a demanda de energia elétrica de diferentes configurações do edifício, inclusive a configuração atual. Através de uma avaliação das mudanças necessárias para melhorar a eficiência energética do prédio e adequá-lo aos programas de certificação de Edifícios Verdes, pode-se verificar os ganhos econômicos e ambientais de um edifício sustentável. Atenção especial é dada ao sistema de climatização, já que este sistema é responsável por aproximadamente 50% da demanda energética do edifício.

ABSTRACT

As the environmental problem discussion grows, any initiative that seeks to reduce the use of non-renewable resources and the reduction of pollutants' emissions is extremely valid. In this context, the project proposal is to study the technical economical viability to transform an existing building, particularly the Reitoria da USP building, in a green building, one that is recognized as a sustainable building through AHSRAE definitions. These definitions seek mainly to reduce the use of electric energy in the major end uses: air conditioning systems, lightning, elevators and equipments. In order to reach this objective, simulations on the EnergyPlus will be run to calculate the thermal loads and the electric energy demand of different building's configurations, including the one where the building is used nowadays. An evaluation will be made to verify the changes needed to improve the energetic efficiency of the building and to adjust it to the Green Building certification programs. Special attention will be paid to the air conditioning system, since the first simulations show that this system is responsible for about 50% of de energy demand of the building.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	EDIFÍCIOS VERDES: NORMA E CERTIFICAÇÃO	2
2.1.	Norma ASHRAE 90.1	2
2.1.1.	Envoltória	3
2.1.2.	Iluminação	3
2.1.3.	Ventilação e ar condicionado	4
2.2.	O programa LEED	6
2.3.	O programa brasileiro: PROCEL EDIFICA	8
2.3.1.	Pré-requisitos.....	9
2.3.2.	Sistema de Iluminação	9
2.3.3.	Sistema de condicionamento de ar	9
2.3.4.	Envoltória	10
2.4.	Edifício Verde	11
3.	ENERGYPLUS – A FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO.....	12
4.	SITUAÇÃO ATUAL DO EDIFÍCIO DA REITORIA.....	13
4.1.	Carga do edifício da Reitoria	13
4.2.	Demanda elétrica do edifício da Reitoria	15
5.	MODELOS PROPOSTOS PARA EDIFÍCIO VERDE.....	16
5.1.	Sistema de condicionamento de ar	16
5.2.	Configuração física do edifício	17
5.3.	Condições ambientais e tempo de simulação	18
5.4.	Condições de uso dos equipamentos e ocupação do edifício	18
6.	RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES	20
6.1.	Resultados para simulação de um dia típico de verão	20
6.2.	Carga térmica e ganho de calor através das janelas	28
7.	COMPARAÇÃO E ANÁLISE TÉCNICA DOS RESULTADOS.....	34
8.	ANÁLISE ECONÔMICA	37
9.	CONCLUSÕES	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Esquema do EnergyPlus	12
Figura 4.1 – Participação dos usos finais na carga do edifício da Reitoria.....	14
Figura 4.2 – Participação dos equipamentos na potência instalada de informática...	15
Figura 5.1 – Esquema simplificado do sistema de climatização.....	17
Figura 5.2 – Geometria do andar padrão.....	17
Figura 6.1 – Gráfico da temperatura média do ar por zona (config. atual).....	21
Figura 6.2 – Gráfico da demanda elétrica - dia típico de verão (config. atual)	21
Figura 6.3 – Gráfico da temperatura média do ar por zona (proposta 1).....	22
Figura 6.4 – Gráfico da demanda elétrica - dia típico de verão (proposta 1).....	23
Figura 6.5 – Temperatura média do ar por zona (proposta 2).....	24
Figura 6.6 – Gráfico da demanda elétrica - dia típico de verão (proposta 2).....	24
Figura 6.7 – Temperatura média do ar por zona (proposta 3).....	25
Figura 6.8 – Gráfico da demanda elétrica - dia típico de verão (proposta 3).....	26
Figura 6.9 – Temperatura média do ar por zona (proposta 4).....	27
Figura 6.10 – Gráfico da demanda elétrica - dia típico de verão (proposta 4).....	27
Figura 6.11 – Carga térmica – dia típico de verão (config. atual)	28
Figura 6.12 – Ganho de calor através das janelas – dia típico de verão (config. atual)	29
Figura 6.13 – Carga térmica – dia típico de verão (proposta 1).....	29
Figura 6.14 – Ganho de calor através das janelas – dia típico de verão (proposta 1)	30
Figura 6.15 – Carga térmica – dia típico de verão (proposta 2).....	30
Figura 6.16 – Ganho de calor através das janelas – dia típico de verão (proposta 2)	31
Figura 6.17 – Carga térmica – dia típico de verão (proposta 3).....	31
Figura 6.18 – Ganho de calor através das janelas – dia típico de verão (proposta 3)	32
Figura 6.19 – Carga térmica – dia típico de verão (proposta 4).....	32
Figura 6.20 – Ganho de calor através das janelas – dia típico de verão (proposta 4)	33
Figura 8.1 – Gastos com energia elétrica	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Carga do edifício da Reitoria	13
Tabela 2 – Características do dia típico de verão simulado	18
Tabela 3 – Fração de uso e ocupação do edifício em um dia útil	19
Tabela 4 – Temperatura na sala nas diferentes propostas para um dia de verão (°C)	34
Tabela 5 – Demanda elétrica das diferentes propostas para um dia de verão (W)	35
Tabela 6 – Custos	37
Tabela 7 – Custos mensais	37

1. INTRODUÇÃO

É de conhecimento geral hoje, que devido ao uso indiscriminado de combustíveis fósseis e conseqüente emissão de poluentes, principalmente dióxido de carbono (CO₂), o planeta enfrenta um processo de aquecimento global, como constatado no relatório parcial do quarto encontro do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*). Com o problema ambiental cada vez mais em pauta e com a maior conscientização de todos em relação à necessidade de preservação, qualquer iniciativa que vise promover a redução de consumo de recursos não renováveis e a diminuição de emissão de poluentes é extremamente válida.

Nesse contexto o trabalho se propõe a estudar a viabilidade técnico econômica de transformar um edifício já existente, no caso o prédio da Reitoria da Universidade de São Paulo, em um Edifício Verde, um prédio reconhecidamente sustentável de acordo com definições da ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) e do USGBC (*U.S. Green Building Council*). Essas definições buscam principalmente reduzir o uso de energia elétrica nos principais usos finais: climatização do ar, iluminação, elevadores e equipamentos eletro-eletrônicos em geral. Como um objetivo secundário será analisada a adequação dos critérios norte americanos para aplicação no Brasil e também as atuais propostas brasileiras para criação de um órgão que vise promover a eficiência energética em edifícios como o relatório Eficiência Energética das Edificações do INEE.

2. EDIFÍCIOS VERDES: NORMA E CERTIFICAÇÃO

Essa seção apresentará uma discussão crítica sobre os textos estudados e tem a intenção de apresentar, em resumo, algumas das premissas para se transformar um edifício existente em um Edifício Verde.

2.1. Norma ASHRAE 90.1

Com o propósito de “prover requisitos mínimos para o eficiente projeto energético de prédios” (ASHRAE 90.1, 2004), esta norma abrange quase todo o tipo de uso de energia de um prédio, desde iluminação a aquecimento de água. Porém, esta norma apresenta uma falha por não apresentar considerações sobre equipamentos de informática. Apesar de individualmente não apresentarem grande consumo, o elevado número de unidades em um prédio soma uma grande carga, podendo chegar a cerca de 30% do consumo total de um prédio. Como toda norma, é bastante detalhada e utiliza diversas definições para descrever sistemas, partes do edifício e equipamentos.

Apesar de ser uma norma norte americana, ela prevê a aplicação dos métodos descritos em qualquer parte do mundo, através de tabelamento de dados para diferentes zonas climáticas e classificação de diversas localidades nessas zonas. A cidade de São Paulo, de particular interesse para este trabalho, é alocada zona climática 2.

Os critérios que podem ser aplicados ao prédio da Reitoria serão expostos aqui em três tópicos: Envoltória, Iluminação e Ventilação e Ar Condicionado. Cada um destes tópicos é dividido em definições gerais, pré-requisitos e descrição do método, como na norma.

2.1.1. Envoltória

A envoltória é a parte do edifício que faz contato com o meio externo e inclui paredes, janelas, portas de entrada e telhado.

- Definições gerais
 - O prédio da Reitoria se enquadra na categoria de espaço não-residencial condicionado;
 - Qualquer alteração na envoltória deve estar de acordo com os requerimentos de isolamento, vazamento de ar e aberturas exigidas pela norma.
- Pré-requisitos
 - O isolamento deve ser instalado de acordo com as recomendações dos fabricantes e deve ter contato substancial com a superfície interna;
 - O isolamento externo deve ser protegido de sol, chuva e vento para evitar estragos;
 - As aberturas devem ter o fator de transmitância e o coeficiente de ganho de calor solar (SHGC) de acordo com os valores tabelados na norma;
 - O vazamento de ar nas portas não deve superar 5 l/s.m²;
 - Em outras aberturas o vazamento não deve superar 2 l/s.m².
- Descrição do método
 - Os valores para transmitância e resistência térmica dos materiais das diferentes partes que compõem a envoltória estão tabelados de acordo com a zona climática;
 - Para áreas opacas, exceto portas, o valor mínimo de resistência térmica deve seguir as indicações do Apêndice A da norma;
 - O isolamento do telhado, paredes e chão deve seguir as tabelas para valores de transmitância e resistência térmica;
 - As entradas de luz devem ter área menor que 50% da área total de paredes ou devem ter o SHGC de acordo com o tabelado.

2.1.2. Iluminação

- Definições gerais
 - A potência de iluminação instalada em um edifício inclui todos os equipamentos usados para fornecer iluminação para o edifício, porém não são considerados os sinais de saída e luzes de emergência.
- Pré-requisitos
 - Um prédio com mais de 465m² deve ter sistema de desligamento automático das luzes, seja por sensor de presença ou por agendamento (*schedule*) do horário de uso do prédio;
 - Cada sala deve ter ao menos um controle manual (interruptor), que não pode controlar uma área maior do que 232m²;
 - A iluminação externa deve ter sensor de luminosidade para desligar automaticamente quando o dia clarear;
 - Sinais de saída devem ter no máximo 5 W de potência por face;
 - Iluminação exterior com luminárias de 100 W de potência ou mais, deve ter lâmpadas de eficácia mínima de 60 lm/W ou ser controlado por sensor de movimento;
 - Luminárias para 1 ou 3 lâmpadas fluorescentes lineares com pelo menos 30 W cada, devem usar reatores duplos ou eletromagnéticos.
- Descrição do método
 - De acordo com o tipo de uso do prédio deve-se determinar a densidade de potência de iluminação permitida, para esse caso de escritório, essa potência é 11 W/m²;
 - Determinar a área bruta do prédio;
 - O produto da área bruta pela densidade de potência de iluminação permitida indica a potência de iluminação permitida para o prédio.

2.1.3. Ventilação e ar condicionado

- Definições gerais
 - Caso novos equipamentos sejam instalados, eles devem ter, ao menos, a eficiência mínima requerida, tabelada na norma de acordo com o tipo de equipamento.

- Pré-requisitos
 - Deve-se verificar a eficiência informada pelo fabricante, checando a presença do equipamento em programas de certificação;
 - Equipamentos mecânicos devem ter etiquetagem de adequação aos requisitos desta norma;
 - Deve-se calcular a carga térmica de projeto de acordo com normas e manuais de engenharia de aceitação geral, como por exemplo, o ASHRAE Handbook of Fundamentals (ASHRAE, 2005);
 - Deve haver controles individuais de temperatura para cada zona termostática;
 - Os termostatos devem ser capazes de prover uma faixa de temperatura de pelo menos 3° C de *deadband*, na qual o resfriamento é desligado ou reduzido ao mínimo;
 - O sistema de ventilação de escadas e elevadores devem ter controle para abertura automática em caso de incêndio;
 - A ventilação externa deve ser fechada quando a área estiver fora de uso;
 - A construção e isolamento do sistema de ar condicionado e ventilação devem ser feito de acordo com o tabelado do Apêndice E da norma;

- Descrição do método
 - Todos os sistemas que tenham ventiladores devem ter economizadores, de ar ou de água;
 - Os economizadores de ar deve ter escape para evitar sobrepressão e prover 100% do ar de projeto como ar externo;
 - Os economizadores de água devem ter queda máxima de pressão de 45 kPa e prover até 100% da carga de resfriamento em temperatura externa de bulbo seco de 10°C/bulbo úmido de 7°C ou mais baixa;
 - Se a potência total de ventilação for maior que 4 kW, cada ventilador deve ter uma potência máxima como tabelado na norma;

- Para sistemas Volume de Ar Variável (VAV) com mais de 11 kW deve haver controle de um dos seguintes tipos: velocidade variável, ângulo de pás variáveis ou redução de potência;
- Se a potência do sistema de bombas for superior a 7,5 kW deve haver um sistema de controle para variar o fluxo em até 50% do fluxo nominal de projeto;
- Sistemas de resfriamento de água com potência maior que 88 kW devem ter controle para *reset* de temperatura;
- Os ventiladores do sistema de rejeição de calor com mais de 5,6 kW devem poder operar em até 66% da sua velocidade;
- Sistemas individuais de ventilação que tenham uma capacidade de suprimento de ar de 2400 l/s ou maior e suprimento de ar externo de 70% ou mais deve ter um sistema de recuperação de energia com efetividade mínima de 50%.

2.2. O programa LEED

O USGBC apresenta uma família de sistemas de classificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), com programas específicos para diferentes condições: construções novas, prédios existentes, interior de comércio, moradias entre outros. O programa para prédios existentes (LEED-EB) propõe uma série de alterações para edifícios que não estão sob grande reforma, o que segundo o USGBC (2005) acontece se mais de 50% da população do prédio permanecer no mesmo durante a melhoria, isto é, caso durante a reforma mais de 50% da população do edifício puder continuar suas atividades normais, então o programa LEED-EB pode ser aplicado.

O programa LEED-EB pode ser definido como uma “norma de performance para operação e manutenção sustentáveis de edifícios” (USGBC, 2005). Ao atingir uma pontuação mínima e responder adequadamente a todos os pré-requisitos, um prédio pode ser certificado. Como em muitos programas, existem diferentes níveis de certificação, a saber: certificado, prata, ouro e platina.

A extensão do LEED vai desde a manutenção do exterior do prédio e programas de incentivo de redução de emissões até uso eficiente de água e energia, revelando-se um programa bastante abrangente.

As grandes áreas analisadas pelo programa e suas respectivas pontuações máximas são:

- Local sustentável (14);
- Eficiência de uso de água (5);
- Energia e atmosfera (23);
- Materiais e recursos (16);
- Qualidade do ambiente interno (22).

A estrutura do manual do programa consiste na divisão destas áreas em subitens, cada um com sua pontuação possível e respectivos aspectos descritivos, que justificam e explicam cada um dos subitens:

- Intenção;
- Requerimentos;
- Submissão para certificação inicial;
- Submissão para re-certificação;
- Potenciais tecnologias e estratégias.

O manual é, portanto, bastante didático e de fácil compreensão para alguém com conhecimentos básicos dos sistemas que compõem um edifício, tais como o sistema hidráulico e elétrico. Porém por se tratar de um manual produzido para uso nos EUA, apresenta itens que não se adequam a realidade em que está o prédio estudado (São Paulo, Brasil), como, por exemplo, quando trata de sistema de aquecimento de ar, sistema não utilizado nas edificações paulistas, devido ao clima local.

Neste trabalho o foco principal está na otimização do uso de energia, escolha justificada pela natureza do projeto e também pela importância deste item no sistema de pontuação do LEED-EB, correspondendo a quase 30% do total de 80 pontos possíveis. Neste aspecto, o manual incentiva a redução da carga interna dos prédios e o uso de energias alternativas e renováveis. A redução da carga de aparelhos elétricos, eletrônicos e de iluminação tem um efeito duplo na melhora do

desempenho, já que além de reduzir o consumo de energia direto, tem efeito no consumo do sistema de condicionamento de ar.

A redução da carga interna é proposta através da utilização de aparelhos e sistemas mais eficientes, e técnicas de economia de energia, como por exemplo, o uso de sensores de presença para acionamento das luzes, sugestões propostas da norma 90.1 da ASHRAE. Neste item, o desempenho necessário para pontuação no sistema LEED-EB, é a calculada por simulação através da ferramenta Energy Star, da qual faz parte o programa EnergyPlus, que será usado para a simulação do prédio estudado.

2.3. O programa brasileiro: PROCEL EDIFICA

Este programa, ainda em caráter experimental, é bastante baseado na norma 90.1 da ASHRAE. Se comparado ao manual do LEED, é bastante simplificado e não abrange todos os itens que o manual norte americano contempla. A regulamentação brasileira “inclui três requisitos principais: eficiência e potência instalada do sistema de iluminação, eficiência do sistema de condicionamento de ar e o desempenho térmico da envoltória do edifício” e se aplica apenas “para edifícios com área total útil mínima de 500m² e/ou com tensão de abastecimento superior ou igual a 2,3kV” (PROCEL EDIFICA, 2007).

Outro ponto de destaque é a formulação da pontuação deste programa. Ao contrário do equivalente norte americano, o programa brasileiro atribui uma fórmula matemática para cálculo da pontuação, e 5 diferentes níveis de eficiência que variam de A (mais eficiente) a E (menos eficiente).

Assim como o LEED, o PROCEL EDIFICA atribui maior importância à eficiência do sistema de condicionamento do ar (40% da pontuação), em relação aos outros dois requisitos.

Analisando os requisitos deste programa criteriosamente, podem-se selecionar os itens aplicáveis ao prédio da Reitoria no sentido de transformá-lo em um edifício que possa ser etiquetado como edifício verde. Seguem abaixo os critérios de qualificação, divididos em quatro seções: pré-requisitos, sistema de iluminação, sistema de condicionamento de ar e envoltória.

2.3.1. Pré-requisitos

- Circuito elétrico com medição centralizada por uso final de energia.

2.3.2. Sistema de Iluminação

- Calcular a densidade de potência de iluminação de acordo com o nível de eficiência desejado;
- Para escritórios deve-se ter o nível de iluminância entre 500 e 1000 lux;
- As luzes de emergência e sinalização de saída não são consideradas no cálculo da potência de iluminação;
- Deve haver um sistema de controle da iluminação, consistindo de ao menos um sistema de desligamento automático da luz, seja através de uma pré-programação de horário de uso, seja através de sensor de presença.

2.3.3. Sistema de condicionamento de ar

- Cada zona térmica deve ser controlada individualmente por um termostato;
- Os termostatos devem ser capazes de prover uma faixa de temperatura de pelo menos 3° C de *deadband*, na qual o resfriamento é desligado ou reduzido ao mínimo;
- Deve haver um sistema de controle do condicionamento de ar, consistindo de ao menos um sistema de desligamento automático dos condicionadores, seja através de uma pré-programação de horário de uso, seja através de sensor de presença.
- Isolamento entre zonas termostáticas, que devem ter no máximo 2300m² e não incluir mais do que um pavimento.
- Sistemas de ventilação com potência total maior que 4,4 kW devem atender a valores tabelados de insuflação de ar;
- Deverá ser instalado um ciclo economizador desde que seu custo benefício seja favorável;

- Sistemas de exaustão com capacidade superior a 140 l/s com *dampers* automatizados que se fechem quando o sistema não estiver em uso;
- Deve haver um sistema de recuperação de calor com pelo menos 50% de eficácia, caso o insuflamento de cada ventilador seja maior que 2400l/s e 70% desse insuflamento seja de ar externo;
- Sistemas de bombeamento de água ou líquido refrigerante com potência superior a 7,5kW devem ser capazes de reduzir a vazão em até 50% da vazão de projeto;
- Ventiladores de condensadores de ar ou torres de resfriamento que tenham potência maior que 5,6kW devem ter capacidade de operar em 66% ou menos da sua velocidade máxima e devem possuir controle para alterar automaticamente a velocidade a fim de alterar a temperatura de saída do fluido.

Para sistemas de condicionamento de ar há uma divisão no programa entre sistemas certificados pelo INMETRO e sistemas não certificados:

2.3.3.1.Sistemas certificados pelo INMETRO

- Deve-se calcular a carga térmica de projeto de acordo com normas e manuais de engenharia de aceitação geral, como por exemplo, o ASHRAE Handbook of Fundamentals (ASHRAE, 2005);
- Caso a carga térmica seja maior que 350kW deve-se adotar um sistema de condicionamento de ar central, ou provar que sistemas individuais consomem menos energia;
- Os equipamentos serão classificados de acordo com tabelas de eficiência energética do INMETRO.

2.3.3.2.Sistemas não regulamentados pelo INMETRO

Os sistemas não regulamentados pelo INMETRO devem atender aos requisitos mínimos tabelados na norma 90.1 da ASHRAE.

2.3.4. Envoltória

Para a análise da envoltória, os fatores mais importantes são as aberturas no edifício, ou seja, toda área que permita a entrada de luz, como janelas e vidraças. O programa impõe que sejam respeitados valores de transmitância e que seguindo um equacionamento proposto de acordo com a área de projeção do edifício e a zona bioclimática na qual ele está construído, o índice de consumo da envoltória do prédio esteja dentro de dado intervalo para a classificação da eficiência energética.

2.4. Edifício Verde

A certificação de Edifício Verde é acreditada a prédios que maximizem a eficiência operacional enquanto minimizam o impacto ambiental causado por sua operação. Assim, um Edifício Verde é também um edifício reconhecidamente sustentável.

Apesar de ainda ser um programa voluntário, tanto nos EUA como no Brasil, dentro de poucos anos, a certificação de um prédio como Edifício Verde será obrigatória, já que cada vez mais será necessária a preservação do ambiente em que vivemos.

3. ENERGYPLUS – A FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO

O EnergyPlus é um programa de análise energética e simulação de carga térmica. Baseado em dois programas de simulação de carga e energia dos anos 80 (BLAST e DOE-2), o EnergyPlus foi desenvolvido para ser usado por engenheiros e arquitetos que desejam dimensionar apropriadamente o sistema de climatização e ventilação, desenvolver estudos de *retrofit* ou otimizar a performance energética de um edifício.

Baseado na descrição do edifício, tanto em relação a sua envoltória quanto ao tipo de equipamentos usado, o programa calcula a carga de resfriamento/aquecimento necessária para manter a temperatura no *setpoint* determinado, o consumo de energia do sistema de climatização e ventilação, entre outras características do sistema como um todo. Os modelos usados para simulação são baseados em princípios fundamentais de balanço energético.

O programa é dividido em diversos módulos, que simulam os diferentes sistemas e fontes de energia, como, por exemplo, módulo de modelo do céu, módulo de janelas, módulo de fluxo de ar, entre outros. Esses módulos são integrados através de um Gerenciador Integrado de Solução, que garante que haja iteração entre os diferentes sistemas. O esquema completo do programa pode ser visualizado na figura 3.1.

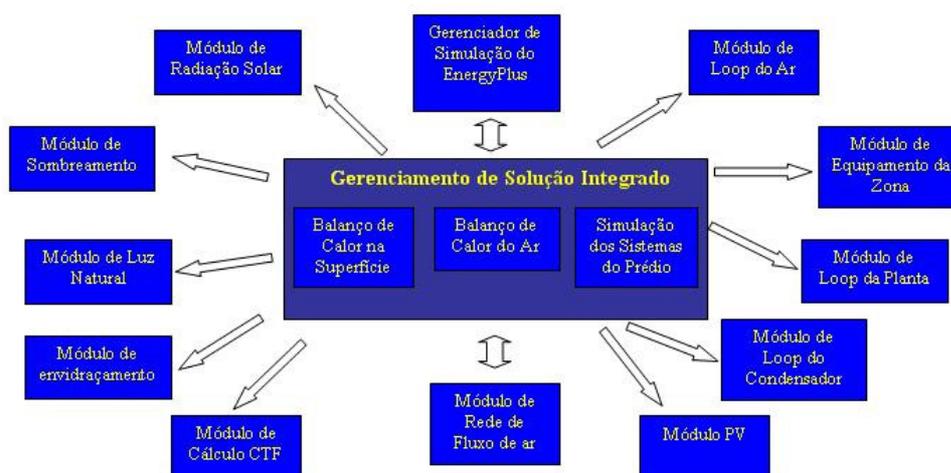


Figura 3.1 – Esquema do EnergyPlus

4. SITUAÇÃO ATUAL DO EDIFÍCIO DA REITORIA

O edifício da Reitoria é formado por dois blocos de 6 andares cada. Através de visitas ao prédio, foi feito um levantamento da carga térmica do edifício da Reitoria. Esse trabalho foi feito para podermos fazer a simulação do modelo base, com as condições atuais e compará-las com as propostas de melhoria.

É importante ressaltar que o prédio está atualmente sob reforma, e algumas áreas serão renovadas, tendo inclusive os equipamentos trocados.

4.1. Carga do edifício da Reitoria

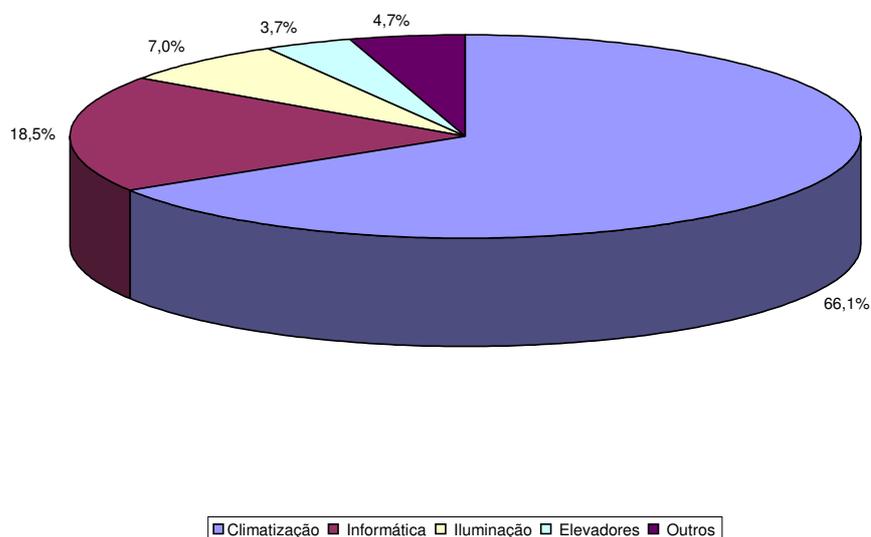
Nesta seção será apresentado apenas um resumo da carga total do edifício, dividida nos principais usos finais: condicionamento de ar, iluminação e equipamentos em geral. A planilha detalhada com os equipamentos (e suas respectivas potências) de cada andar é apresentada no Anexo B. A tabela 1 apresenta o resumo desta planilha.

Tabela 1 – Carga do edifício da Reitoria

USO	POTÊNCIA (kW)
Condicionamento de ar	541,77
Iluminação	57,66
Informática	151,59
Elevadores	30,0
Outros	38,19

Para uma melhor visualização da importância de cada uso final na composição da carga do edifício da Reitoria, pode-se visualizar a figura 4.1 abaixo.

Participação dos Usos Finais na Carga

**Figura 4.1 – Participação dos usos finais na carga do edifício da Reitoria**

Através do gráfico acima se percebe a importância do sistema de climatização na carga térmica total do edifício. Isso justifica por que as propostas estudadas neste trabalho serão baseadas principalmente na mudança do sistema de climatização. O segundo uso que mais afeta o consumo de energia é “Informática”. A figura 4.2 mostra a composição da carga térmica dentro dos equipamentos de informática.

Participação dos Equipamentos na Potência Instalada de Informática

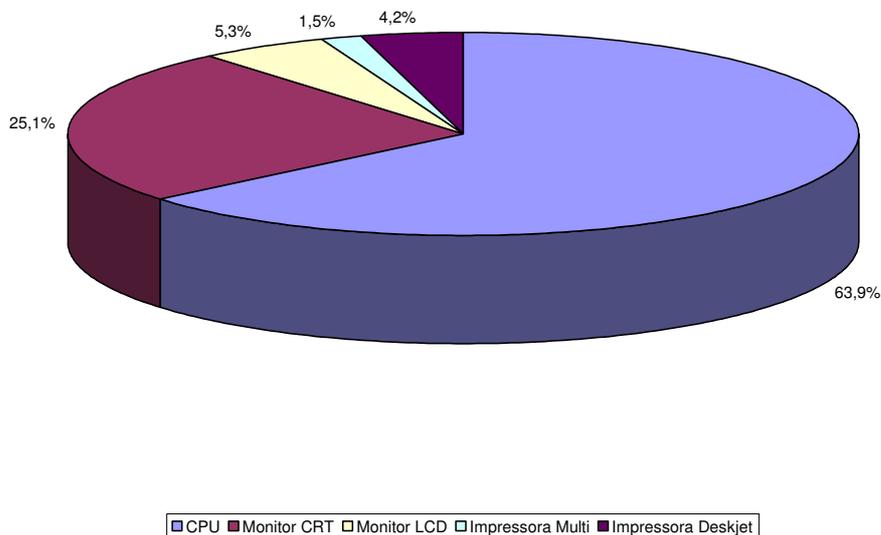


Figura 4.2 – Participação dos equipamentos na potência instalada de informática

A partir do gráfico acima, percebe-se que os monitores CRT, ou de tubo, são responsáveis por aproximadamente um quarto da potência instalada de informática. Por isso a importância da proposta de substituição destes por monitores LCD, que consomem em média 60% menos energia.

A simulação do prédio em sua configuração atual utilizando o EnergyPlus, contemplará a avaliação da carga total do edifício dividida pelos 12 andares que compõem o prédio, caracterizando uma carga média por andar, sem prejuízo para análise dos resultados.

4.2. Demanda elétrica do edifício da Reitoria

O consumo de energia elétrica do edifício da Reitoria é monitorado 24 horas por dia pelo GEPEA, para uso no programa PURE USP. Com os dados da demanda elétrica de 12 meses, de abril de 2006 a março de 2007, foi possível construir um perfil mensal de demanda elétrica do edifício. O anexo A apresenta os perfis de demanda média diária, para cada mês e também a média anual. Esses gráficos serão comparados com os gráficos de demanda gerados a partir dos resultados da simulação do modelo de Edifício Verde.

5. MODELOS PROPOSTOS PARA EDIFÍCIO VERDE

O estudo será feito através da comparação de 4 diferentes propostas de modificações da edificação em estudo, além da configuração atual do edifício. As propostas terão as seguintes configurações:

- Configuração atual: sistema de condicionamento de ar de janela (split) e baixa eficiência (COP =2,9);
- Proposta 1: prédio com envoltória atual, equipamentos e iluminação de acordo com a norma 90.1 da ASHRAE (COP=4,2);
- Proposta 2: configuração atual com uso de filme reflexivo nas janelas;
- Proposta 3: proposta 1 com filme reflexivo nas janelas;
- Proposta 4: proposta 1 com alteração da envoltória (material das paredes);

A proposta 4 é apenas para estudo dos efeitos que alterações na envoltória do edifício causam na demanda elétrica e na temperatura do ambiente interno. Essas propostas não se enquadram no LEED-EB, já que seria necessário trocar as paredes externas, e por isso não será feita análise econômica dessa proposta, ficando como sugestão para trabalhos futuros.

5.1. Sistema de condicionamento de ar

O sistema de condicionamento de ar mais eficiente para o edifício seria um sistema centralizado, porém como o pé direito do edifício é baixo, não há espaço suficiente para instalação dos dutos de distribuição de ar necessários para esse sistema, o que inviabiliza sua instalação.

Um segundo sistema bastante eficiente seria o VRF (*Variable Refrigerant Flow*), que é um sistema multi-split com apenas uma unidade externa, centralizadora, e diversas unidades internas operadas individualmente. Hoje ainda não existe produção deste sistema no Brasil, o que o torna um sistema muito caro, e por isso não será analisado.

Assim, o sistema de climatização utilizado será um sistema com resfriador central com acionamento por motores elétricos com condensação à água com uso de torres de resfriamento e com equipamentos de distribuição de ar nos ambientes climatizados utilizando fancoletes, que são trocadores de calor com motoventiladores que são posicionados em cada ambiente a ser condicionado. Esse sistema é mais

eficiente do que os atuais aparelho de janela, e será usado como o sistema de condicionamento de ar de todas as propostas, exceto a Proposta 2. A figura 5.1 abaixo mostra um esquema simplificado do sistema.

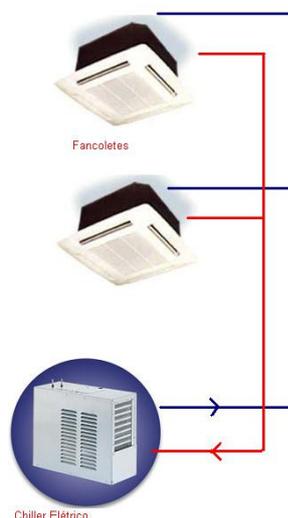


Figura 5.1 – Esquema simplificado do sistema de climatização

Nesse modelo será considerado que todos os controles requeridos tanto pela Norma 90.1 da ASHRAE como pelo sistema do PROCEL EDIFICA bem como outros pré-requisitos serão cumpridos. O COP (*Coefficient of Performance*) do resfriador segundo a Norma, deve ser no mínimo 4,20, valor que será adotado no modelo.

5.2. Configuração física do edifício

A simulação será feita para um andar do edifício, considerado padrão, que terá uma zona condicionada (sala) e duas zonas não condicionadas (Banho1 e Banho2). A figura 3 apresenta a configuração geométrica do andar.



Figura 5.2 – Geometria do andar padrão

Como a iluminação atual do edifício da Reitoria ($9,4 \text{ W/m}^2$) satisfaz a densidade requerida pela norma para áreas de escritório, 11 W/m^2 , esta será usada em todos os modelos simulados. A potência de iluminação total é de 4803 W , já que a

área do andar é de 511 m². Cada andar tem uma área de janelas de 277,2 m², totalizando 3326,4 m² de janelas no edifício inteiro.

O resultado das simulações para todo o prédio será considerado como o produto do número de andares pelo resultado do andar simulado. Essa consideração pode ser feita sem prejuízo, pois o teto e o piso do andar são modelados como adiabáticos, ou seja, estariam em contato com uma zona de mesma temperatura, isto é, o andar adjacente. No caso do último andar, ter-se-ia uma carga térmica maior em função da taxa de irradiação solar que atinge o teto. Porém, como todas as propostas serão simuladas sem esta consideração, para efeito de comparação, isto não afetará as análises aqui realizadas.

5.3. Condições ambientais e tempo de simulação

As simulações serão feitas um dia típico de verão, que teve suas características medidas em local próximo ao edifício da Reitoria.

O dia típico de verão apresenta as características ambientais apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Características do dia típico de verão simulado

Temperatura Máxima de Bulbo Seco (°C)	29,7
Variação de temperatura (°C)	11,4
Temperatura de Bulbo Úmido (°C)	21,8
Pressão Barométrica (Pa)	92800
Velocidade do vento (m/s)	2,4
Direção do vento (graus)	150
Nebulosidade (%)	0

5.4. Condições de uso dos equipamentos e ocupação do edifício

Todas as propostas são simuladas sob as mesmas condições de utilização do edifício, ou seja, os *schedules* do sistema de climatização, luzes, e demais equipamentos elétricos são iguais para todas as propostas. A ocupação do prédio também segue o mesmo *schedule* para todas as propostas, ou seja, o número de pessoas no edifício em cada faixa horária é o mesmo para todas as propostas.

A tabela 3 abaixo mostra a fração de uso de equipamentos e ocupação do edifício para as 24 horas do dia, para um dia útil.

Tabela 3 – Fração de uso e ocupação do edifício em um dia útil

	Utilização dos Equipamentos	Utilização das Luzes	Ocupação
01:00	0	0	0
02:00	0	0	0
03:00	0	0	0
04:00	0	0	0
05:00	0	0	0
06:00	0	0	0
07:00	0,1	0,1	0,1
08:00	0,4	0,4	0,4
09:00	0,6	0,7	0,7
10:00	0,8	1	1
11:00	0,8	1	1
12:00	0,8	1	1
13:00	0,8	1	0,95
14:00	0,8	1	1
15:00	0,8	1	1
16:00	0,8	1	1
17:00	0,7	0,9	0,9
18:00	0,5	0,6	0,6
19:00	0,3	0,3	0,3
20:00	0,2	0,2	0,2
21:00	0,1	0,1	0,1
22:00	0	0	0
23:00	0	0	0
00:00	0	0	0

Para finais de semana e feriados o prédio todo foi considerado vazio e todos os equipamentos desligados. Essa situação, de desligamento total é real apenas para o sistema de climatização, já que mesmo durante os finais de semana e horários não comerciais, existe ocupação do edifício (seguranças), e alguns aparelhos, como geladeiras, ficam ligados o tempo todo. Como a carga é pequena em relação ao montante do prédio e o mesmo *schedule* é usado em todas as propostas, esta simplificação pode ser feita sem prejuízo para as análises.

6. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Os resultados que serão analisados são: temperatura média do ar nas zonas (apenas para verificação da condição de projeto), demanda energética das instalações e do sistema de climatização. Como consumo das instalações deve-se entender o consumo da iluminação, equipamentos e do sistema de climatização. Esses resultados serão usados para comparar a eficiência e eficácia dos sistemas de climatização propostos.

Serão apresentados os resultados para a carga térmica total e interna (luzes, equipamentos e pessoas) e ganho de calor através das janelas em um dia típico de verão. Assim será possível analisar a importância da envoltória do edifício no que diz respeito à absorção do calor externo.

6.1. Resultados para simulação de um dia típico de verão

Simulação para a configuração atual

A figura 6.1 mostra o gráfico da temperatura média do ar por zona. Como as zonas “Banho 1” e “Banho 2” não são condicionadas, a temperatura delas fica mais alta, devido à incidência solar e à carga térmica interna (luzes e pessoas). A zona “Sala”, que é condicionada por um sistema split, consegue ficar a uma temperatura agradável somente até as 11:00h. Após esse horário o sistema atual de condicionamento de ar se mostra incapaz de manter a temperatura em 24°C.

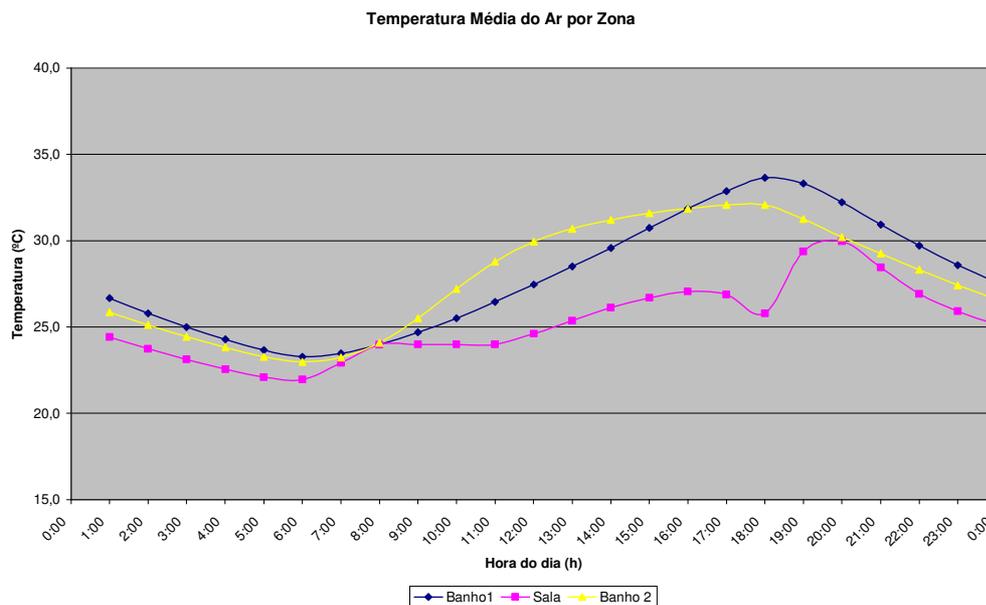


Figura 6.1 – Gráfico da temperatura média do ar por zona (config. atual)

A figura 6.2 mostra a demanda elétrica das instalações (equipamentos e sistema de condicionamento de ar) e do sistema de condicionamento de ar isoladamente. Percebe-se que o sistema de condicionamento de ar responde por aproximadamente 35% (188kW) da demanda elétrica total, mesmo sendo ineficaz como mostrado na figura 6.1, por isso a importância do correto dimensionamento e alta eficiência do sistema de climatização.

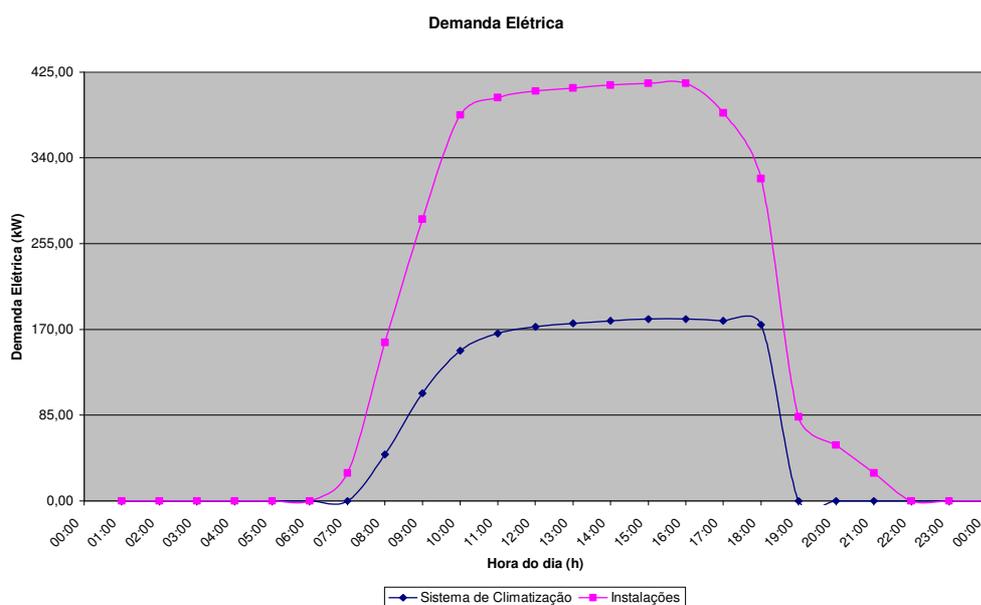


Figura 6.2 – Gráfico da demanda elétrica - dia típico de verão (config. atual)

Simulação para a Proposta 1

A figura 6.3 mostra o gráfico de temperatura média das zonas a cada hora. É fácil notar que a única zona condicionada é a Sala, na qual a temperatura permanece em torno dos 24°C no período de operação do sistema de climatização (7:00h às 19:00h). O aumento na temperatura desta zona após as 19:00h se deve à troca de calor com as zonas Banho1 e Banho2, que estão em uma temperatura mais elevada, já que não são condicionadas. A diferença que existe no perfil de temperatura destes 2 ambientes é devida à diferente incidência solar em cada uma das laterais do prédio.

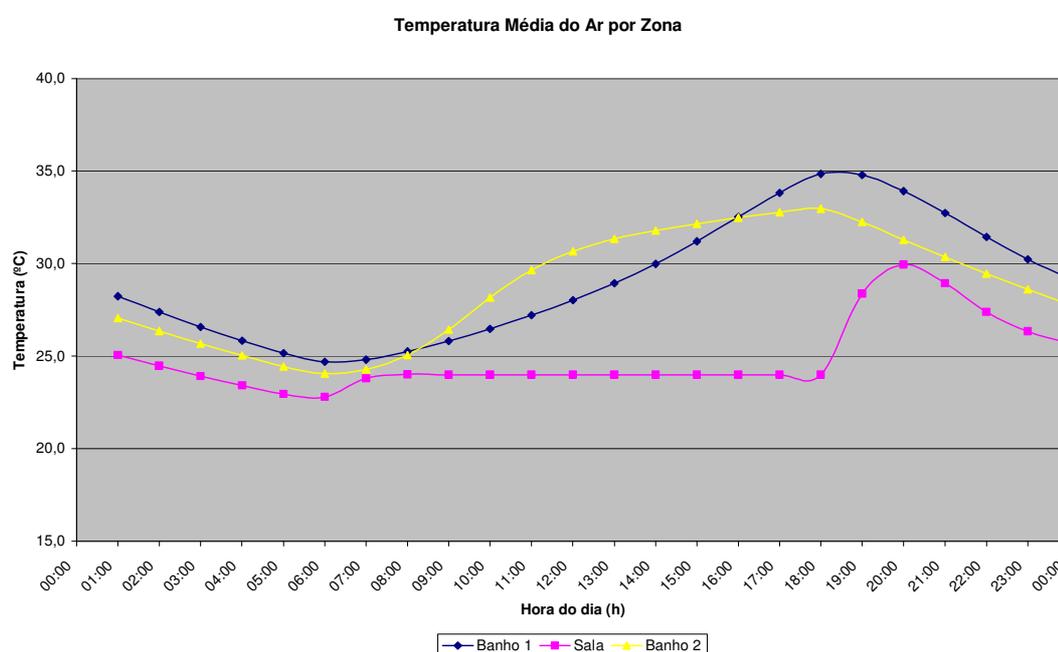


Figura 6.3 – Gráfico da temperatura média do ar por zona (proposta 1)

A figura 6.4 mostra a demanda de eletricidade das instalações e do sistema de climatização. Percebe-se claramente que o sistema de climatização é responsável por metade da demanda total. Os valores apresentados são para todo o edifício da Reitoria, ou seja, 2 blocos de 6 andares cada.

No período de 7:00h às 9:00h a demanda do sistema de climatização é baixa, pois a temperatura do ar na Sala não demanda um fluxo grande de ar resfriado.

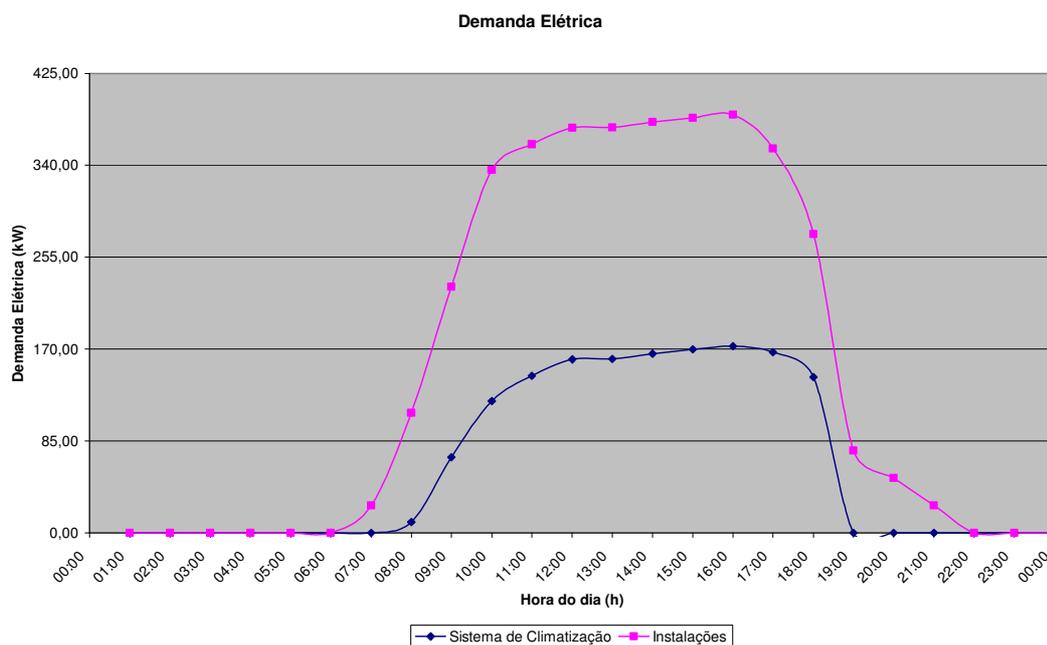


Figura 6.4 – Gráfico da demanda elétrica - dia típico de verão (proposta 1)

Simulação para a Proposta 2

A figura 6.5 mostra a variação da temperatura. Essa proposta também não é adequada para manter a temperatura em 24°C, apesar de manter a temperatura um pouco mais baixa do que a configuração atual, devido ao filme reflexivo.

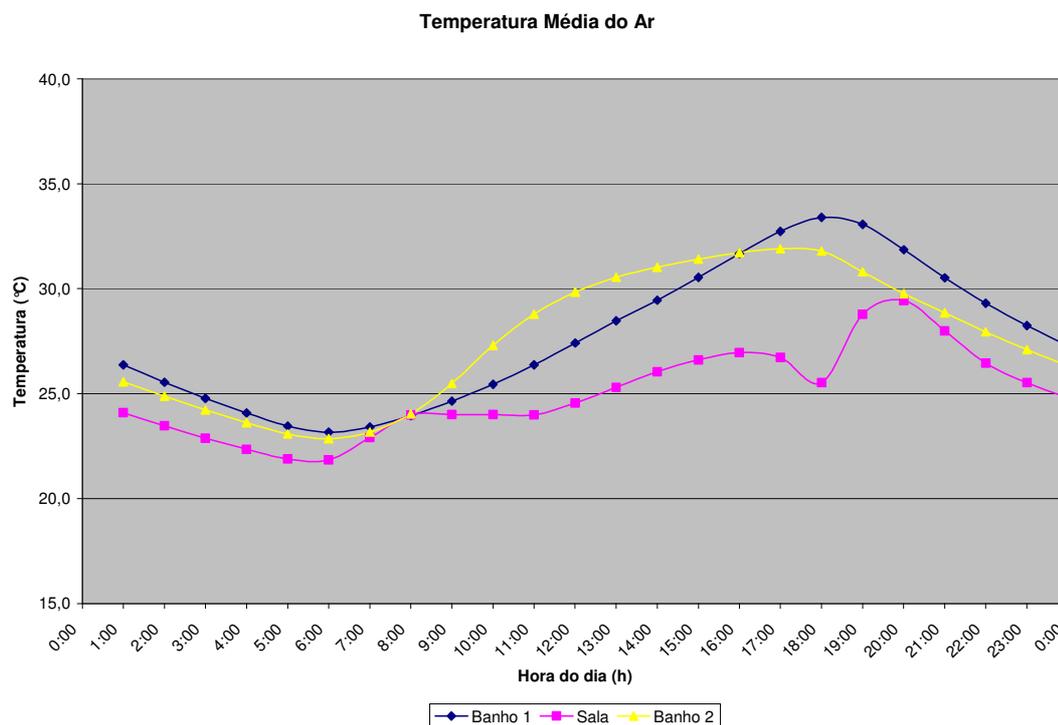


Figura 6.5 – Temperatura média do ar por zona (proposta 2)

A figura 6.6 mostra a demanda elétrica para a proposta 2. A demanda é a mesma em relação à configuração atual, cerca de 188kW para o sistema de climatização, no pico, por volta das 16 horas.

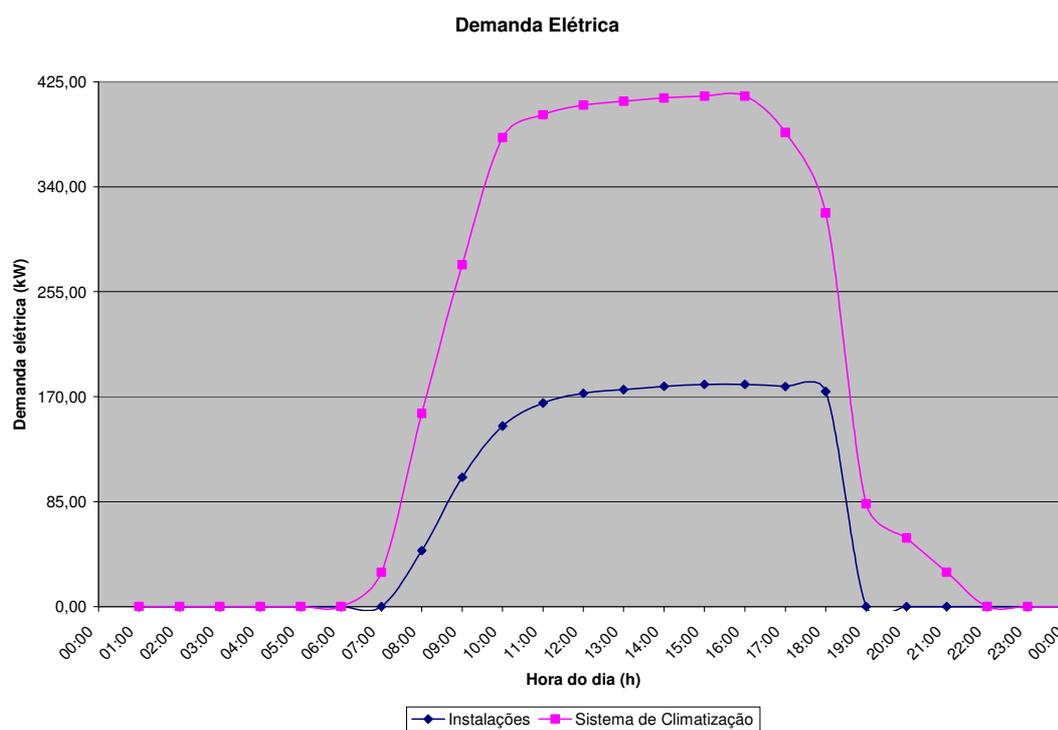


Figura 6.6 – Gráfico da demanda elétrica - dia típico de verão (proposta 2)

Simulação para a Proposta 3

A figura 6.7 mostra a temperatura média do ar nas zonas. O sistema de climatização atende adequadamente a proposta de manter a temperatura na sala em torno de 24°C. O sistema de climatização é o mesmo da proposta 1. A temperatura fora do horário de funcionamento do sistema de climatização e nas outras duas zonas (Banho1 e Banho 2) são um pouco mais baixas devido ao uso do filme reflexivo.

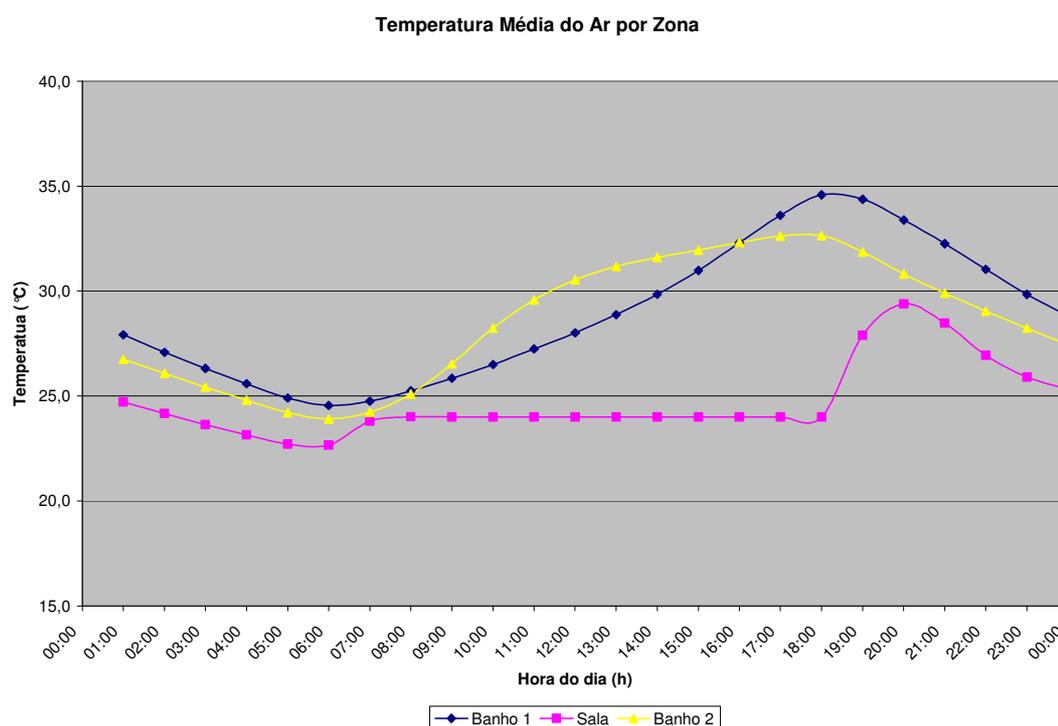


Figura 6.7 – Temperatura média do ar por zona (proposta 3)

A demanda elétrica é praticamente a mesma que na proposta 1. Assim como se pode perceber na resposta da proposta 2, o uso do filme reflexivo não diminui a demanda elétrica, como mostrado na figura 6.8, praticamente igual à figura 6.4, que mostra a demanda elétrica para esta mesma proposta, exceto do filme reflexivo.

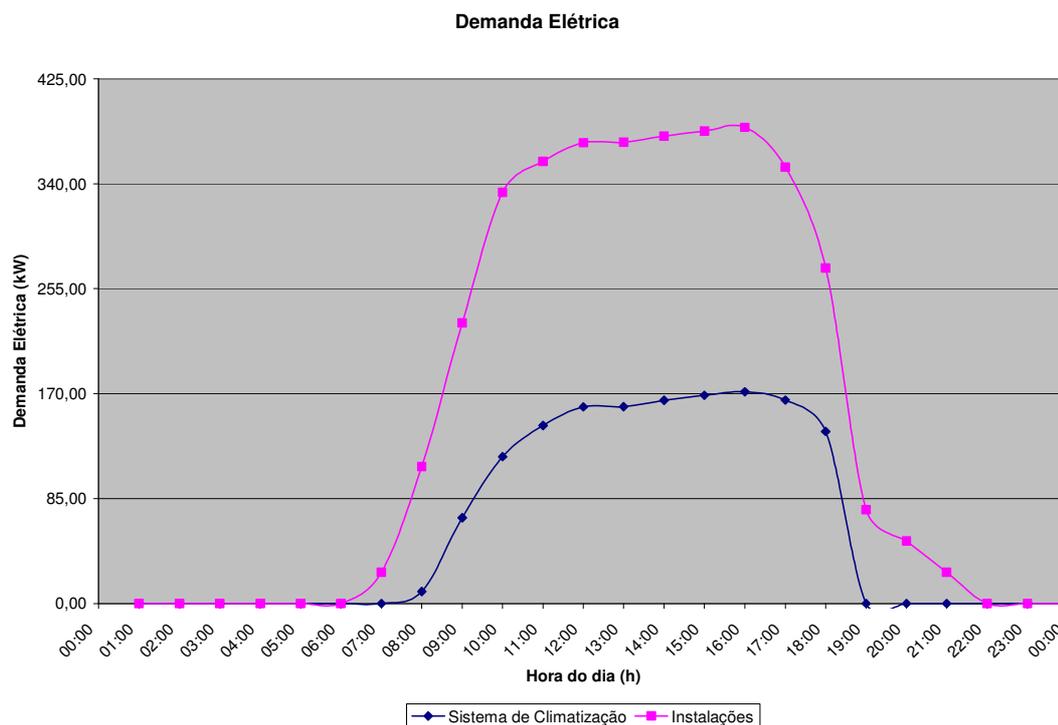


Figura 6.8 – Gráfico da demanda elétrica - dia típico de verão (proposta 3)

Simulação para a Proposta 4

A figura 6.9 mostra a temperatura média do ar para a proposta 4, com alteração da envoltória, exceto das janelas. As temperaturas fora da zona e horários condicionados são mais baixas do que nas propostas anteriores devido às melhores características do material das paredes externas.

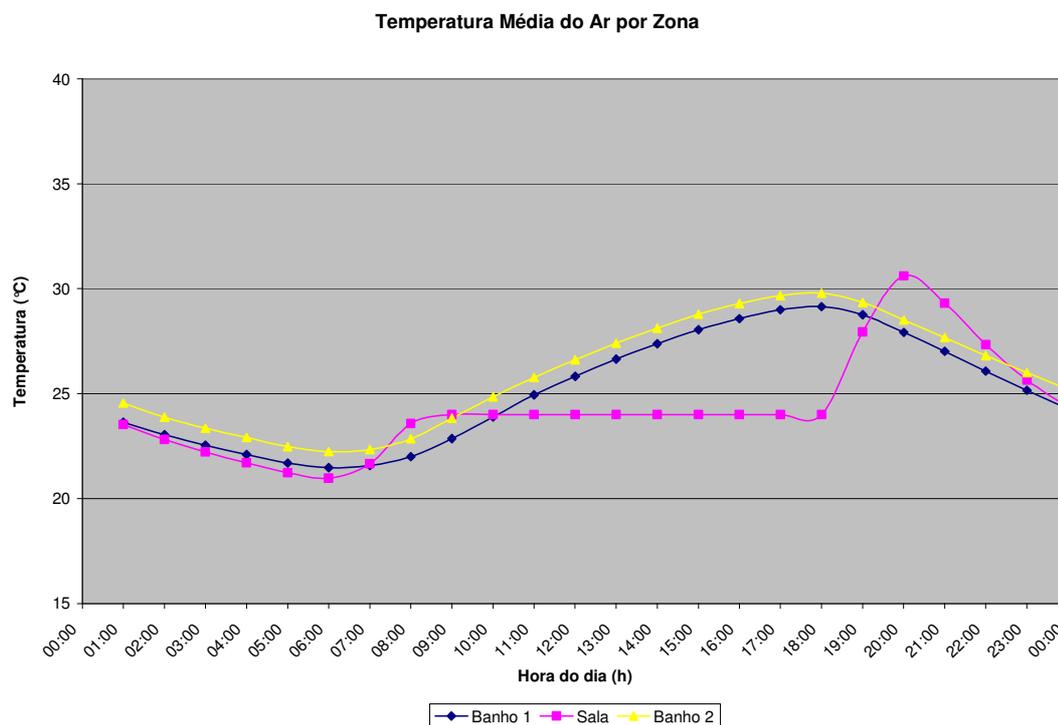


Figura 6.9 – Temperatura média do ar por zona (proposta 4)

A figura 6.10 mostra a demanda elétrica e neste caso percebe-se uma importante redução na eletricidade usada pelo sistema de climatização, de cerca de 10%.

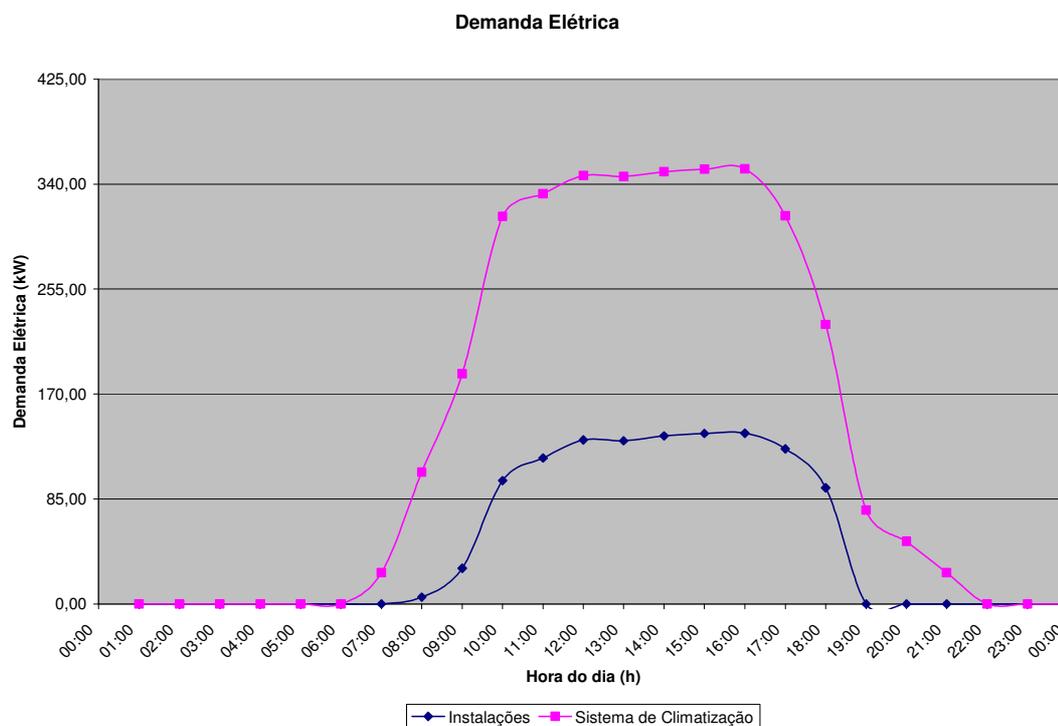


Figura 6.10 – Gráfico da demanda elétrica - dia típico de verão (proposta 4)

6.2. Carga térmica e ganho de calor através das janelas

As figuras 6.21 a 6.30 mostram a carga térmica (interna e total) para a Sala e o ganho de calor através das janelas na Sala. Estes gráficos mostram a importância das luzes, equipamentos e pessoas, na composição da carga térmica total, correspondendo a mais de 50% da carga térmica total. Por isso a importância de usar equipamentos e iluminação eficientes, para diminuir a carga térmica do ambiente.

Pelos gráficos de ganho de calor através das janelas percebe-se a importância da aplicação de filme reflexivo na janela, para diminuir a grande quantidade de energia que penetra no ambiente através das janelas.

Configuração atual

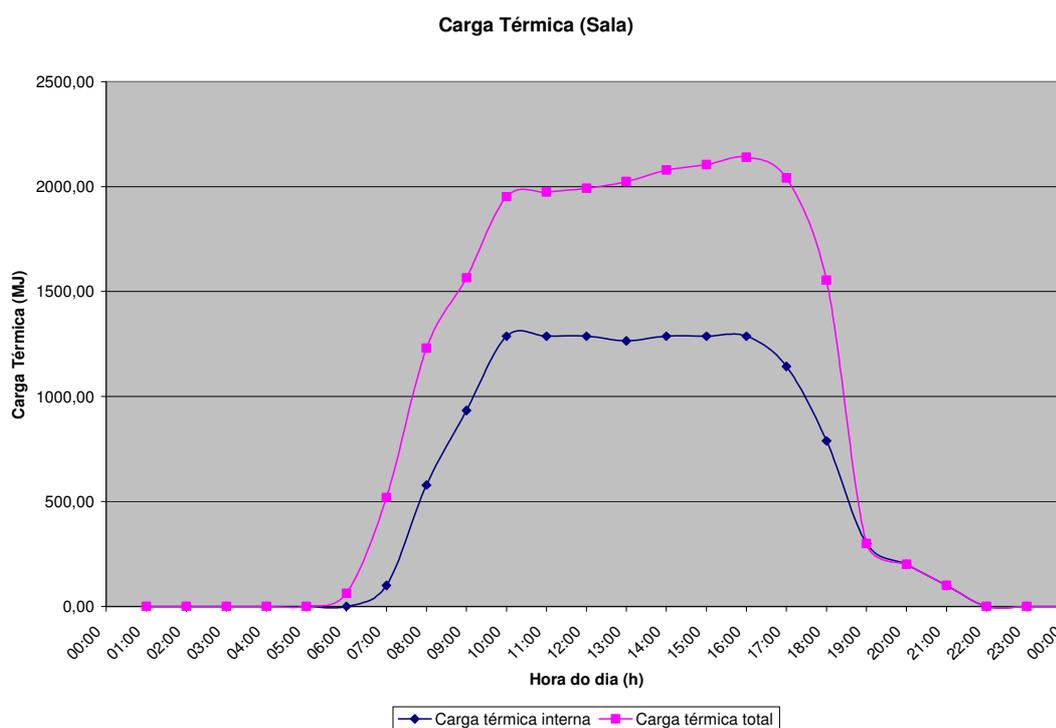


Figura 6.11 – Carga térmica – dia típico de verão (config. atual)

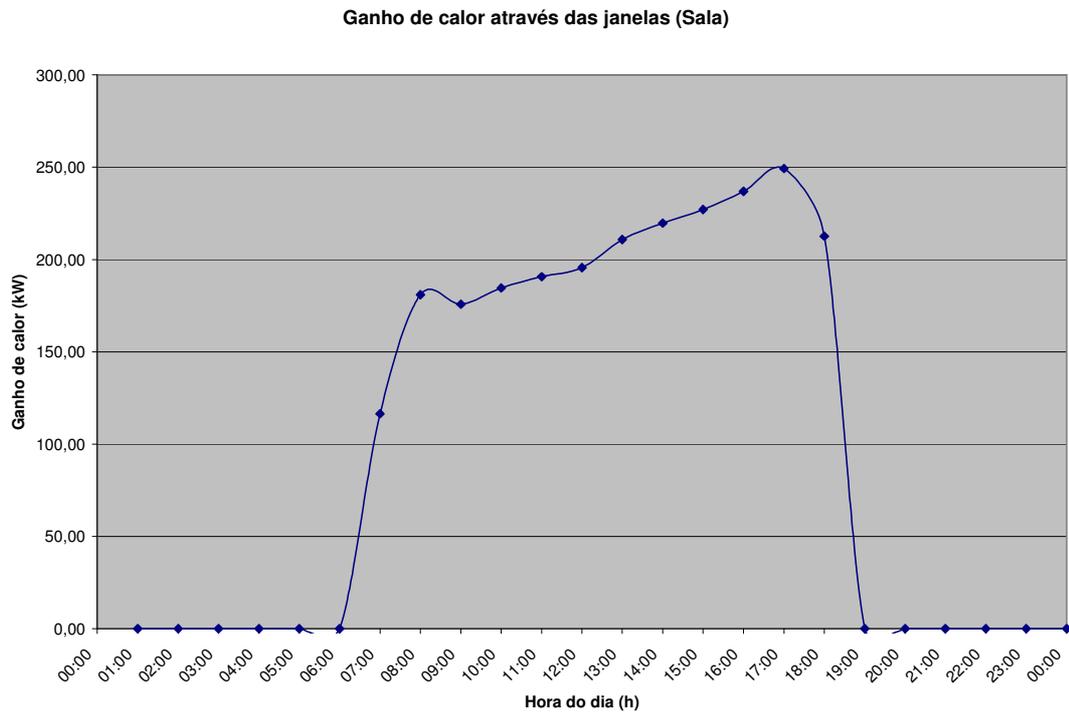


Figura 6.12 – Ganho de calor através das janelas – dia típico de verão (config. atual)

Proposta 1

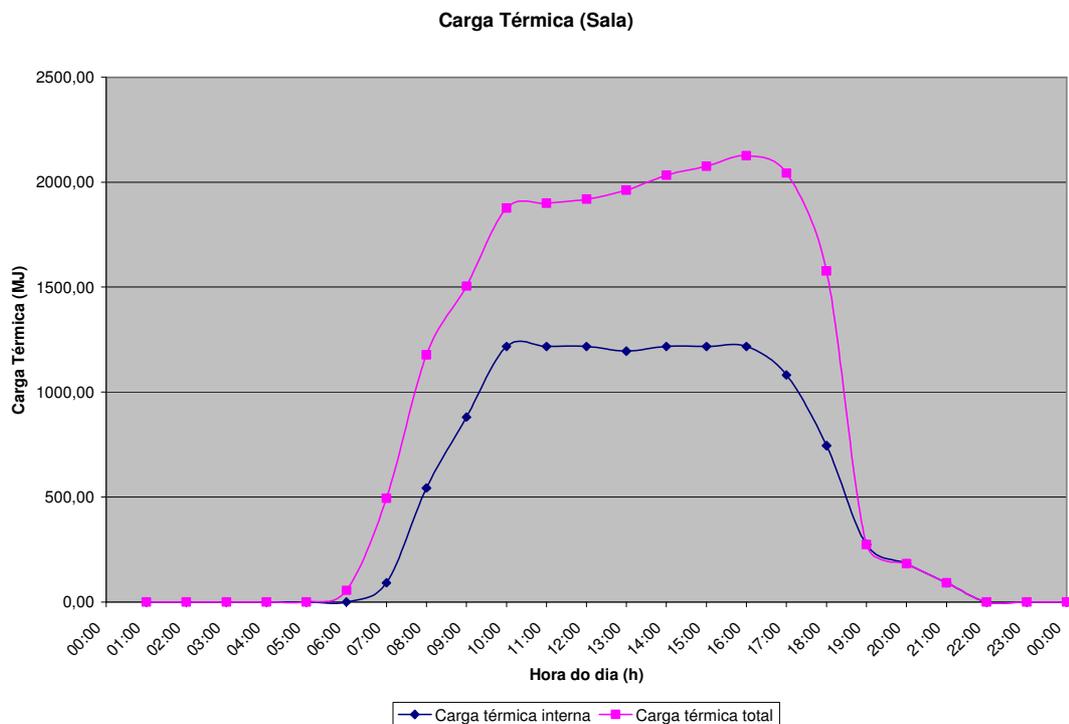


Figura 6.13 – Carga térmica – dia típico de verão (proposta 1)

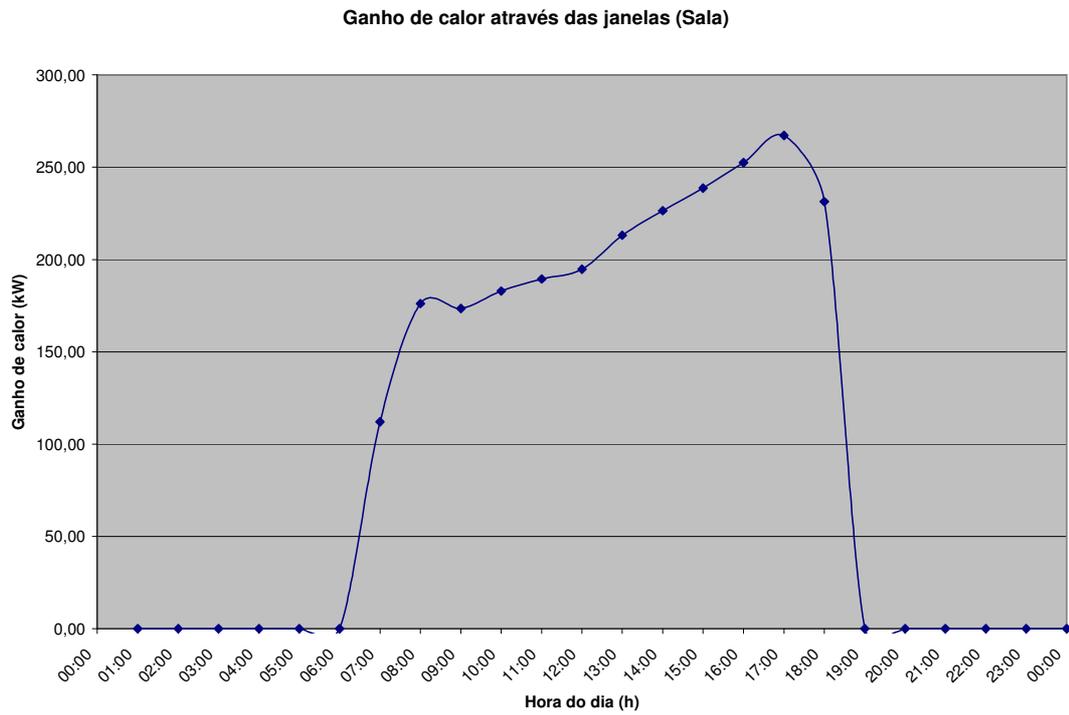


Figura 6.14 – Ganho de calor através das janelas – dia típico de verão (proposta 1)

Proposta 2

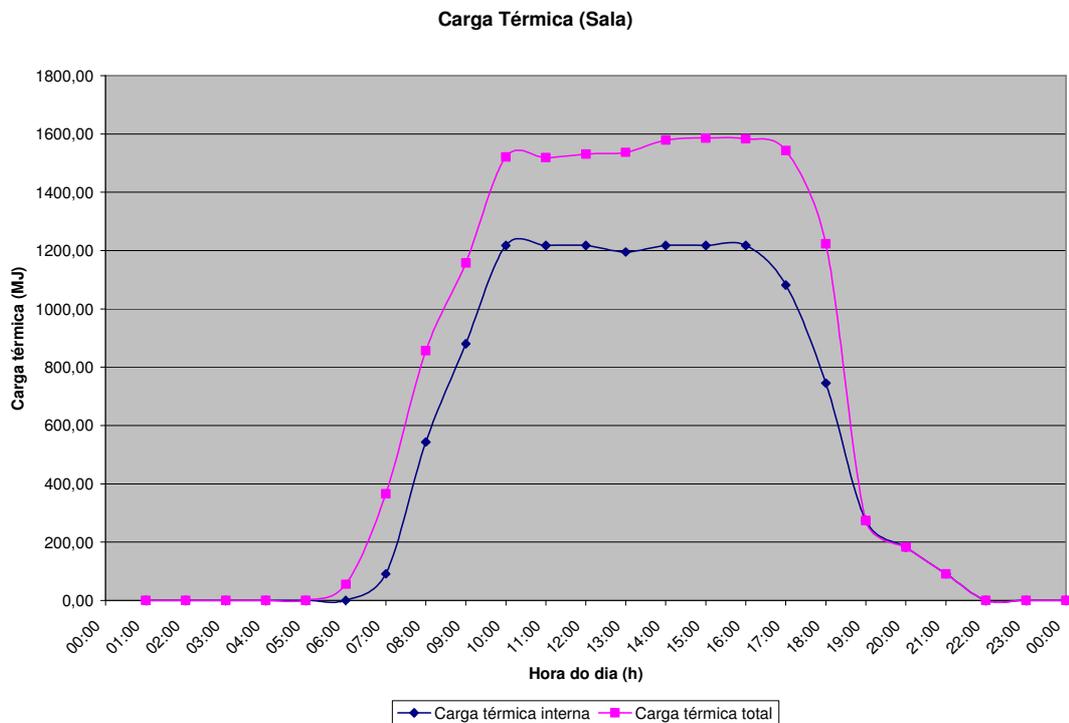


Figura 6.15 – Carga térmica – dia típico de verão (proposta 2)

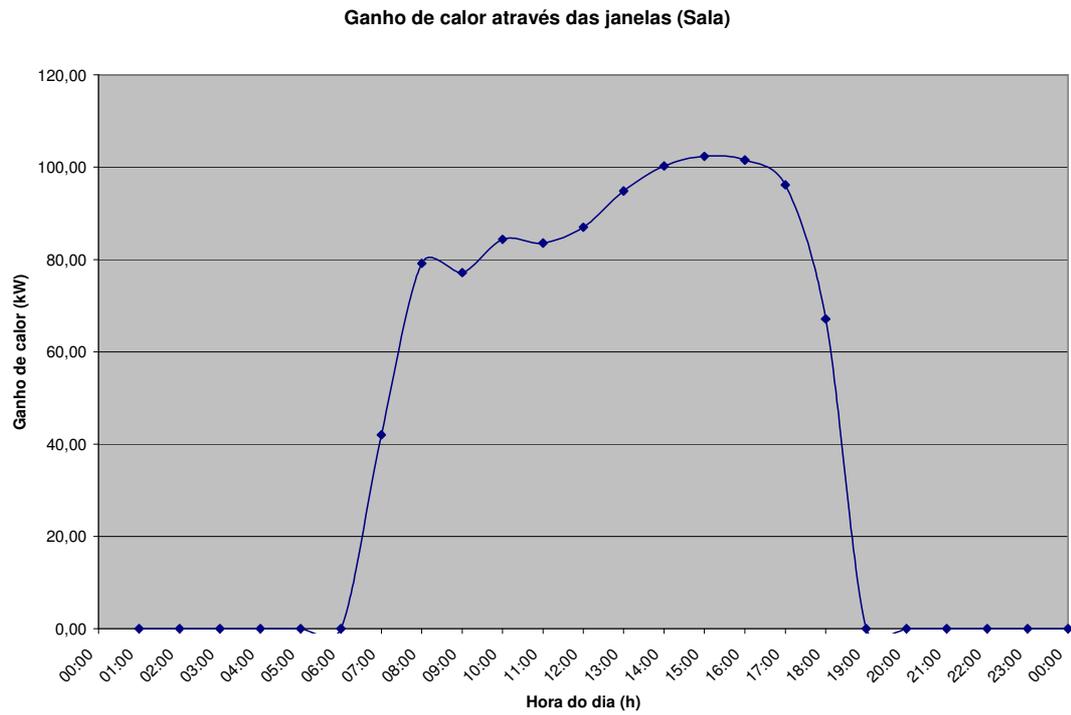


Figura 6.16 – Ganho de calor através das janelas – dia típico de verão (proposta 2)

Proposta 3

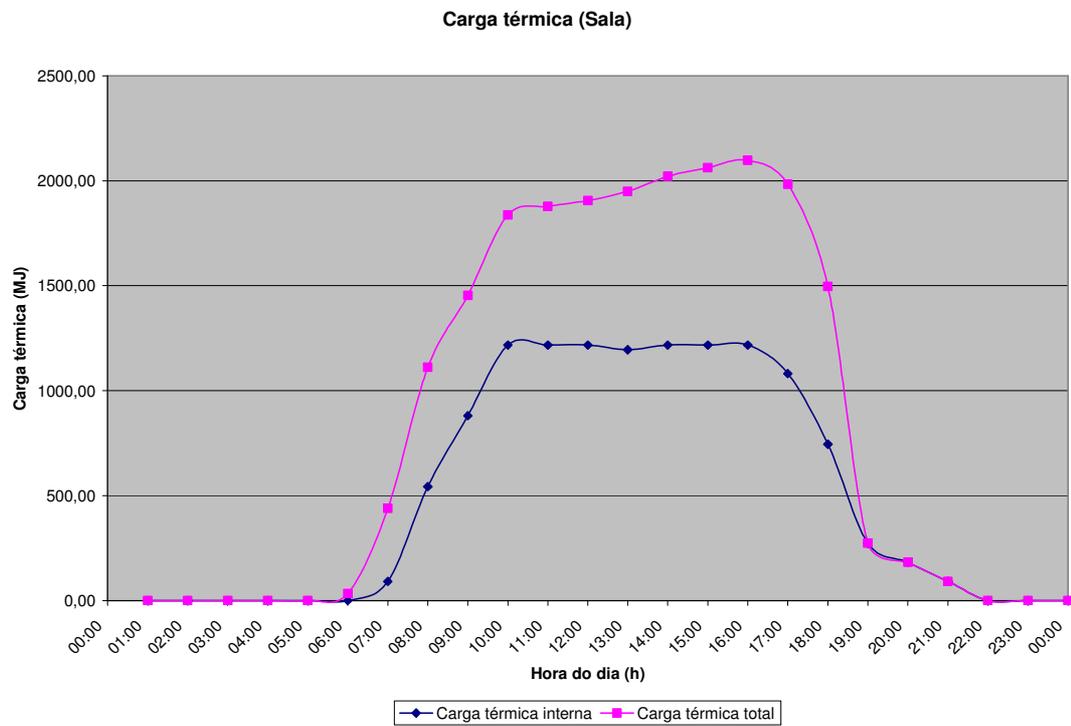


Figura 6.17 – Carga térmica – dia típico de verão (proposta 3)

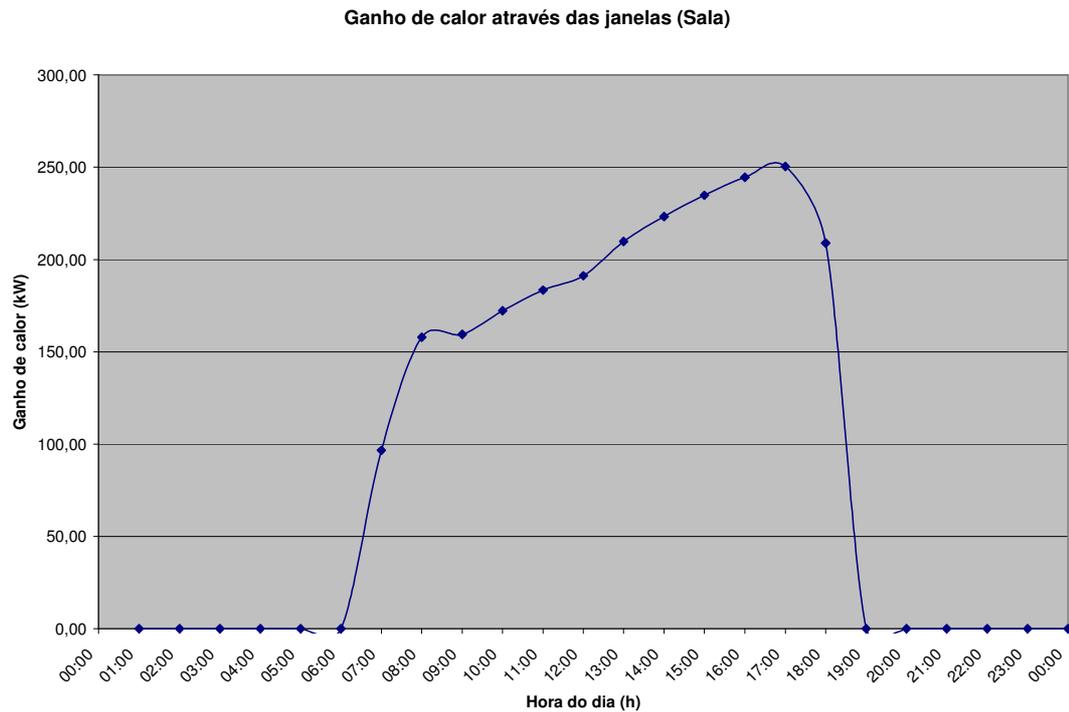


Figura 6.18 – Ganho de calor através das janelas – dia típico de verão (proposta 3)

Proposta 4

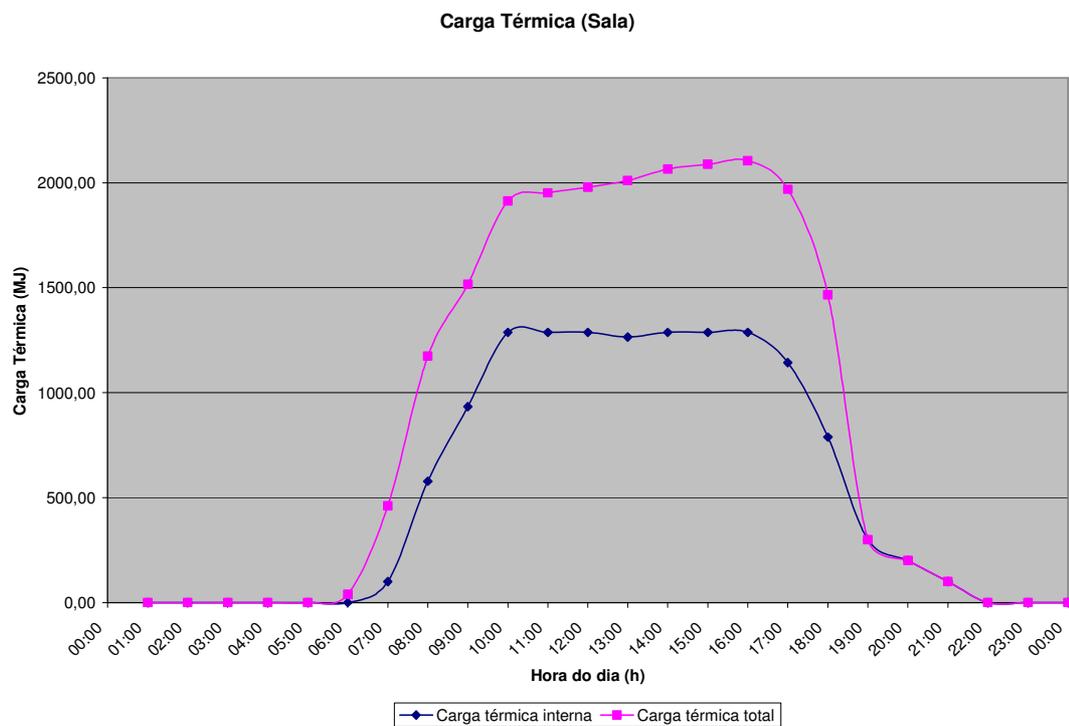


Figura 6.19 – Carga térmica – dia típico de verão (proposta 4)

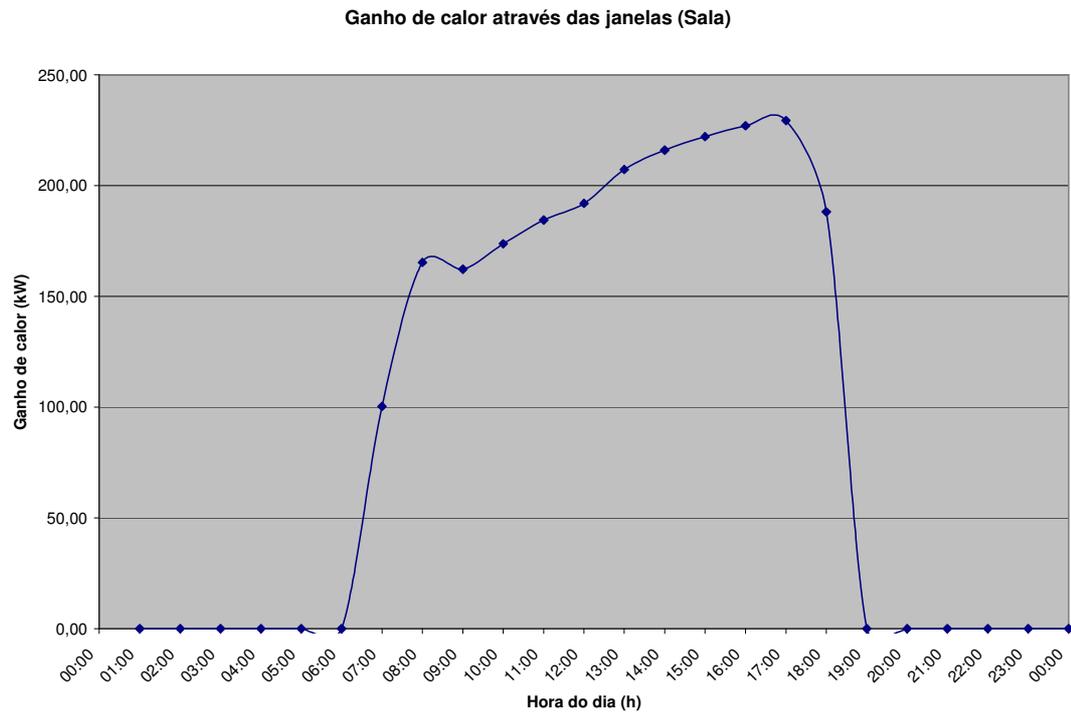


Figura 6.20 – Ganho de calor através das janelas – dia típico de verão (proposta 4)

7. COMPARAÇÃO E ANÁLISE TÉCNICA DOS RESULTADOS

As análises serão feitas sobre os resultados de um dia típico de verão, pois este será o caso que exigirá mais do sistema de climatização, e conseqüentemente o caso com maior demanda elétrica.

A tabela 4, apresentada abaixo mostra as temperaturas na Sala, a única zona condicionada, para todas as propostas apresentadas e a configuração atual. Os campos em verde mostram as temperaturas no horário em que o sistema de climatização está ativo e a temperatura não ultrapassa 24°C, a temperatura de projeto.

Tabela 4 – Temperatura na sala nas diferentes propostas para um dia de verão (°C)

	Configuração atual	Proposta 1	Proposta 2	Proposta 3	Proposta 4
	Sala				
01:00	24,4	25,1	24,1	24,7	23,5
02:00	23,7	24,5	23,5	24,2	22,8
03:00	23,1	23,9	22,9	23,6	22,2
04:00	22,6	23,4	22,3	23,2	21,7
05:00	22,1	23,0	21,9	22,7	21,2
06:00	22,0	22,8	21,8	22,7	21,0
07:00	22,9	23,8	22,9	23,8	21,7
08:00	24,0	24,0	24,0	24,0	23,6
09:00	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0
10:00	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0
11:00	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0
12:00	24,6	24,0	24,6	24,0	24,0
13:00	25,4	24,0	25,3	24,0	24,0
14:00	26,1	24,0	26,0	24,0	24,0
15:00	26,7	24,0	26,6	24,0	24,0
16:00	27,1	24,0	27,0	24,0	24,0
17:00	26,9	24,0	26,7	24,0	24,0
18:00	25,8	24,0	25,5	24,0	24,0
19:00	29,4	28,4	28,8	27,9	27,9
20:00	30,0	29,9	29,4	29,4	30,6
21:00	28,5	28,9	28,0	28,5	29,3
22:00	26,9	27,4	26,5	26,9	27,3
23:00	25,9	26,3	25,5	25,9	25,7
00:00	25,1	25,7	24,8	25,3	24,4

Analisando a tabela acima podemos concluir que a configuração atual e a proposta 2 são inadequadas, pois a partir das 12 horas o sistema de climatização não consegue manter a temperatura em 24°C. A proposta 4, como citado anteriormente,

não se enquadra no LEED-EB, portanto apenas as configurações das propostas 1 e 3 podem ser consideradas adequadas.

A tabela 5 apresenta a demanda elétrica das instalações para as diferentes configurações a cada hora do dia e também a demanda total do dia.

Tabela 5 – Demanda elétrica das diferentes propostas para um dia de verão (W)

	Configuração atual	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
	Sala				
01:00	-	-	-	-	-
02:00	-	-	-	-	-
03:00	-	-	-	-	-
04:00	-	-	-	-	-
05:00	-	-	-	-	-
06:00	-	-	-	-	-
07:00	27.746,40	25.315,20	27.746,40	25.315,20	25.315,20
08:00	157.177,56	111.094,16	156.345,53	111.015,75	106.808,94
09:00	278.963,03	227.569,29	277.001,77	227.102,83	186.470,81
10:00	382.542,18	335.844,10	379.795,42	333.088,03	313.851,11
11:00	399.477,05	359.330,98	398.418,11	358.284,20	332.201,70
12:00	406.270,88	374.614,56	406.245,45	373.288,65	346.857,77
13:00	409.321,19	374.791,42	409.248,96	373.550,93	346.271,11
14:00	412.077,88	379.862,10	411.958,93	378.663,49	350.071,57
15:00	413.671,31	383.762,66	413.531,86	382.680,77	352.140,82
16:00	413.666,87	386.839,91	413.503,48	385.630,51	352.392,03
17:00	384.319,54	355.622,19	384.085,83	353.469,28	314.363,65
18:00	319.087,80	276.290,57	318.711,49	271.647,09	226.437,34
19:00	83.239,20	75.945,60	83.239,20	75.945,60	75.945,60
20:00	55.492,80	50.630,40	55.492,80	50.630,40	50.630,40
21:00	27.746,40	25.315,20	27.746,40	25.315,20	25.315,20
22:00	-	-	-	-	-
23:00	-	-	-	-	-
00:00	-	-	-	-	-
TOTAL	4.170.800,09	3.742.828,33	4.163.071,64	3.725.627,92	3.405.073,27

A proposta 4, como já mostrado no capítulo 6, apresenta a menor demanda elétrica, porém, como citado acima não pode se enquadrar no LEED-EB. Pode-se notar também que proposta 2 e a configuração atual, além de não manterem a temperatura programada são as configurações que apresentam o maior consumo elétrico.

A diferença de consumo entre as propostas 1 e 3 é causada apenas pela aplicação de uma película reflexiva nos vidros, que diminui a absorção do calor pelas janelas. Essa diferença, porém é da ordem de 0,5%. No próximo capítulo será feita a

análise econômica para saber se a economia de 0,5% compensa o custo de instalação do filme e se é viável a troca do sistema de climatização.

8. ANÁLISE ECONÔMICA

Após o estudo técnico é preciso fazer a análise econômica, para verificar a viabilidade econômica das propostas viáveis tecnicamente, ou seja, as propostas 1 e 3. A comparação será feita com o custo estimado da configuração atual. A tabela 6 apresenta os custos envolvidos nesta análise.

Tabela 6 – Custos

Energia Elétrica	R\$0,26/kWh
Sistema de climatização	R\$ 181.978,45
Filme Reflexivo	R\$ 15,00/m ²

O valor da tarifa de energia elétrica foi cedido pelo PURE USP, e corresponde ao valor taxado na USP.

O sistema de climatização é orçado para uma capacidade de 160 kW (46 TR), o que garante que mesmo no dia mais quente (dia típico de verão), o sistema de climatização por *fancolete* seja adequado em pelo menos 75% do tempo.

A tabela 7 abaixo mostra os custos para a configuração atual, propostas 1 e 3. Os custos são para a operação de um dia e também de instalação para as propostas 1 e 3.

Tabela 7 – Custos mensais

	Configuração atual	Proposta 1	Proposta 3
Energia elétrica diária	R\$ 1.084,408	R\$ 973,135	R\$ 968,663
Sistema de climatização	R\$ -	R\$ 181.978,45	R\$ 181.978,45
Filme reflexivo	R\$ -	R\$ -	R\$ 49.896,00
Custo operação mensal	R\$ 21.688,16	R\$ 19.462,71	R\$ 19.373,27
Custo total upgrade	R\$ -	R\$ 181.978,45	R\$ 231.874,45
Tempo (anos) de payback		6,8	8,3

A tabela mostra a viabilidade do projeto em termos financeiros, pois o gasto mensal da proposta 1 é 10% menor do que a configuração atual, e em menos de 7 anos o investimento é recuperado com a economia na conta de luz. A figura 8.1 abaixo mostra a evolução dos custos de instalação e conta de energia para as três configurações analisadas, e ilustra melhor a situação demonstrada na tabela.

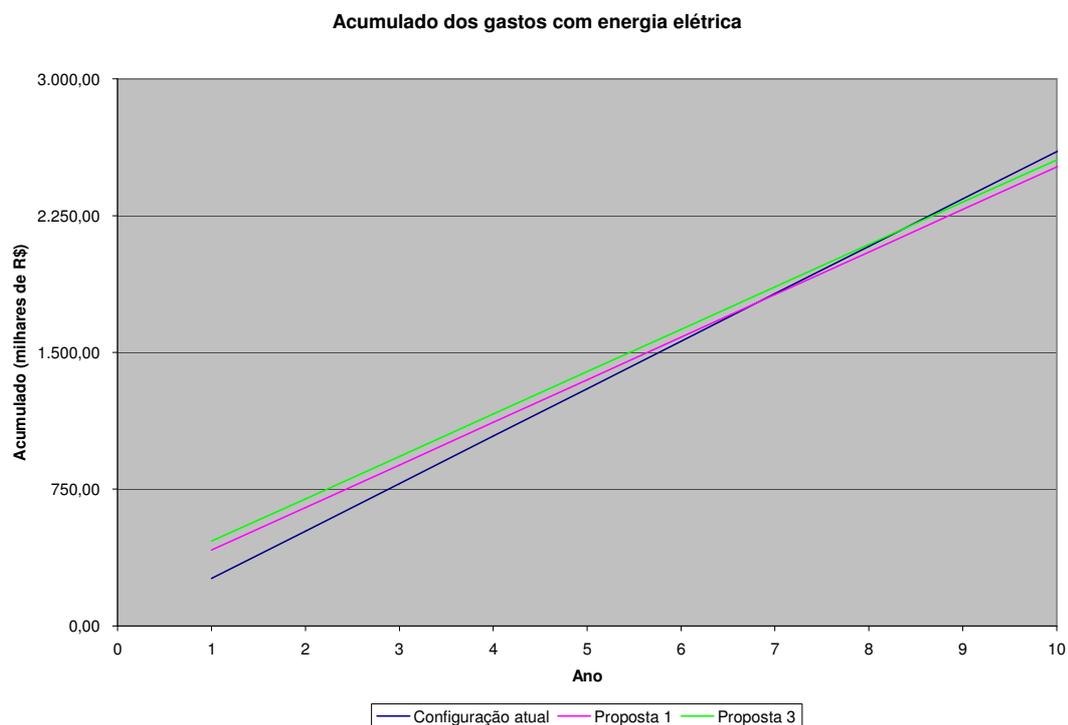


Figura 8.1 – Gastos com energia elétrica

Nota-se também que a instalação do filme reflexivo não colabora muito com a redução do consumo, gerando uma economia mensal de R\$89,44 aproximadamente. Com isso, a proposta 3 leva 1 ano e meio a mais para se pagar, o que basicamente inviabiliza o uso do filme reflexivo.

9. CONCLUSÕES

Sobre o PROCEL EDIFICA pode-se dizer que apesar de bastante resumido, o programa apresenta basicamente o mesmo conteúdo dos programas americanos, porém nota-se que ambos deveriam adicionar comentários sobre equipamentos de informática, pois como levantado este uso chega a representar 20% da carga total de um edifício de escritórios.

O sistema atual de climatização, apesar de não ser o mais adequado e consumir mais energia que o sistema proposto com resfriador central com acionamento elétrico com condensação à água, atende os requisitos de projeto em pelo menos 70% do tempo.

Apesar disso, e do alto custo inicial de instalação do sistema de climatização, o sistema de fancolete pode ser viabilizado economicamente e se mostra a melhor solução.

Outra conclusão importante é a inviabilidade econômica do filme reflexivo. São necessários 46 anos para que a diferença do investimento do filme reflexivo seja paga, considerando-se as propostas 1 e 3.

Por fim cabe ressaltar o estudo feito sobre a envoltória (proposta 4). Esse estudo permitiu entender a grande importância da envoltória para a redução do consumo energético de um edifício e fica como sugestão para próximos trabalhos uma análise mais detalhada sobre os efeitos da envoltória do edifício.

ANEXO A

As figuras A1 a A12 apresentam as demandas médias em kW. A medição é feita a cada 15 minutos e o resultado apresentado é a média considerando apenas os dias úteis.

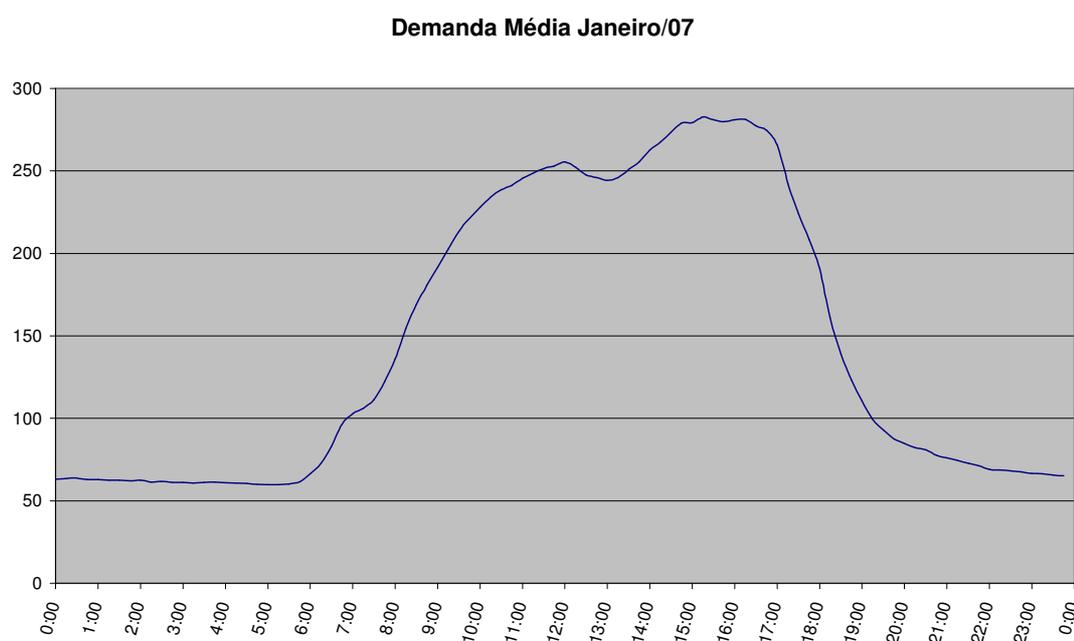
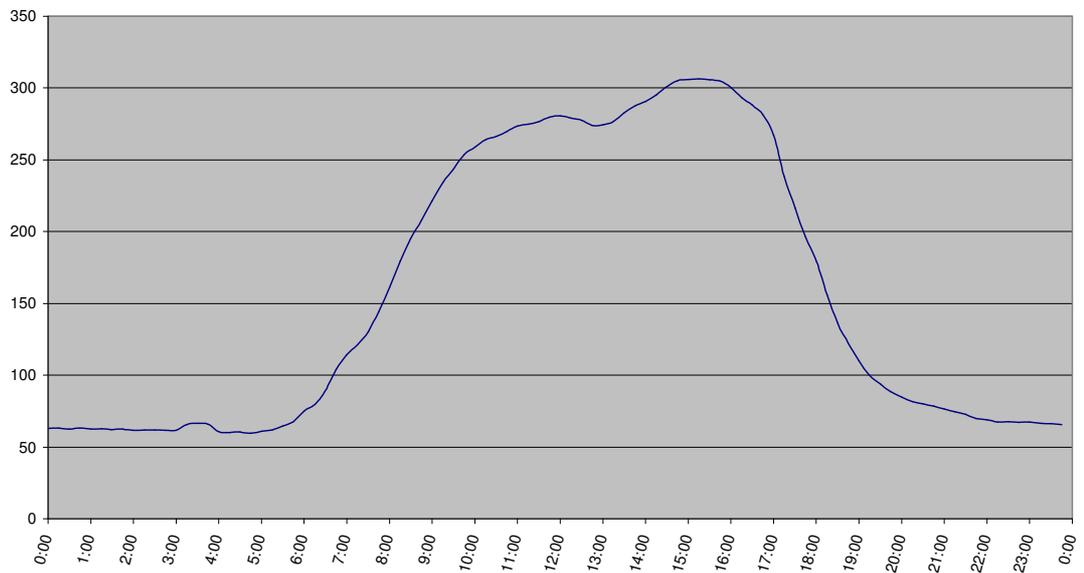
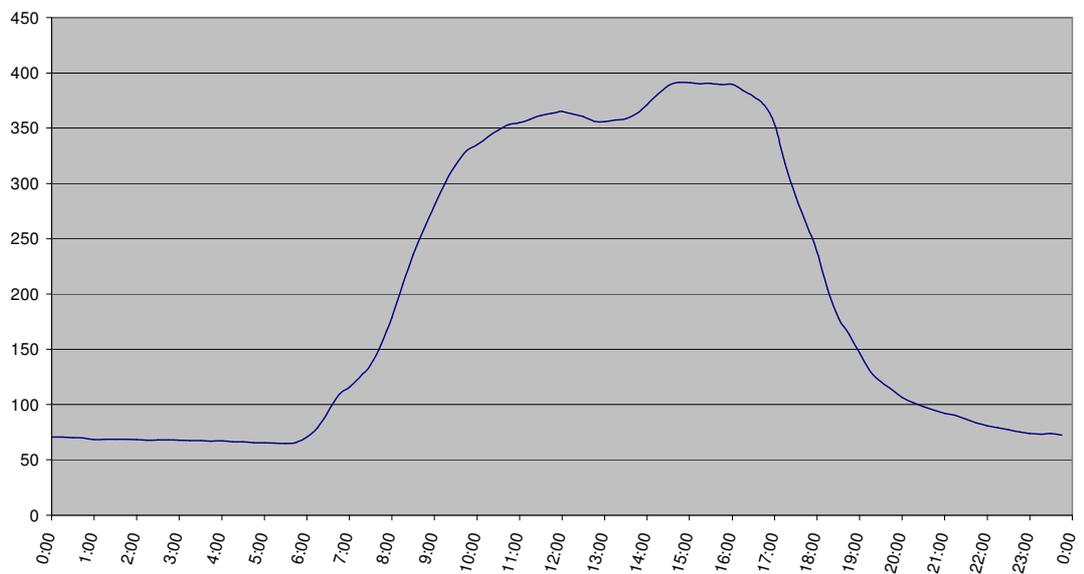
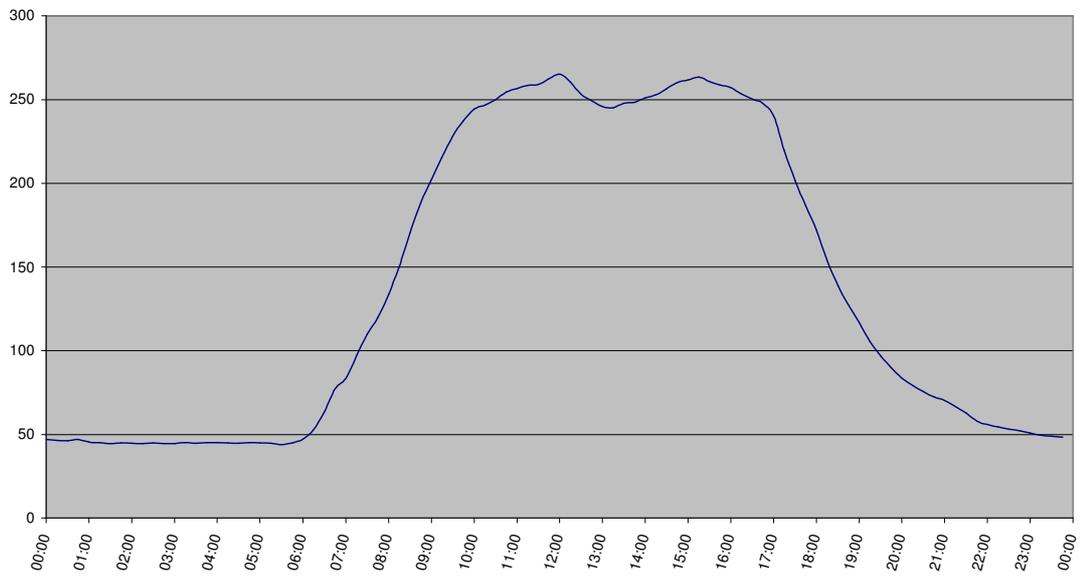
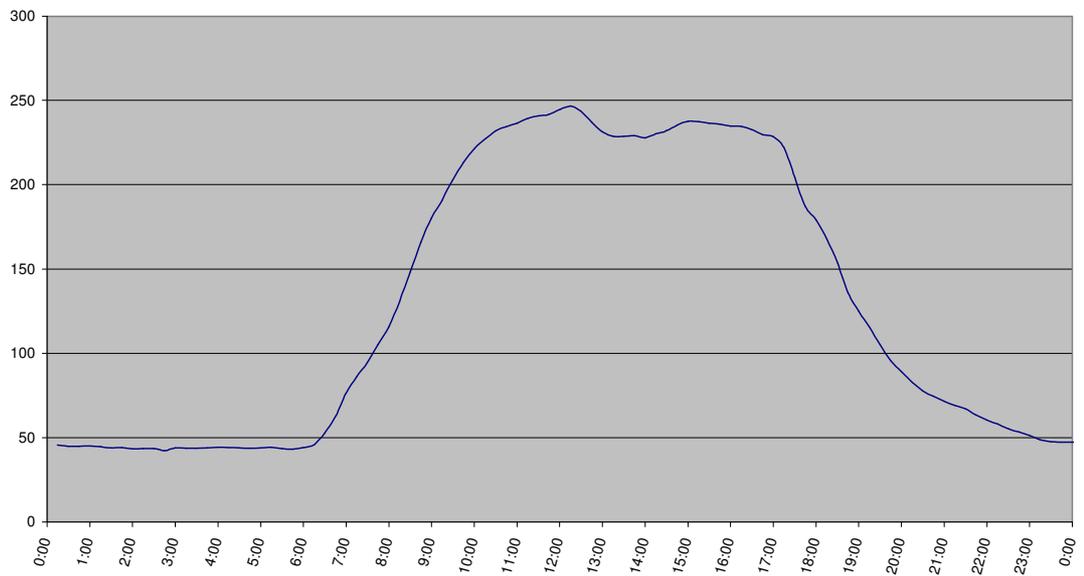
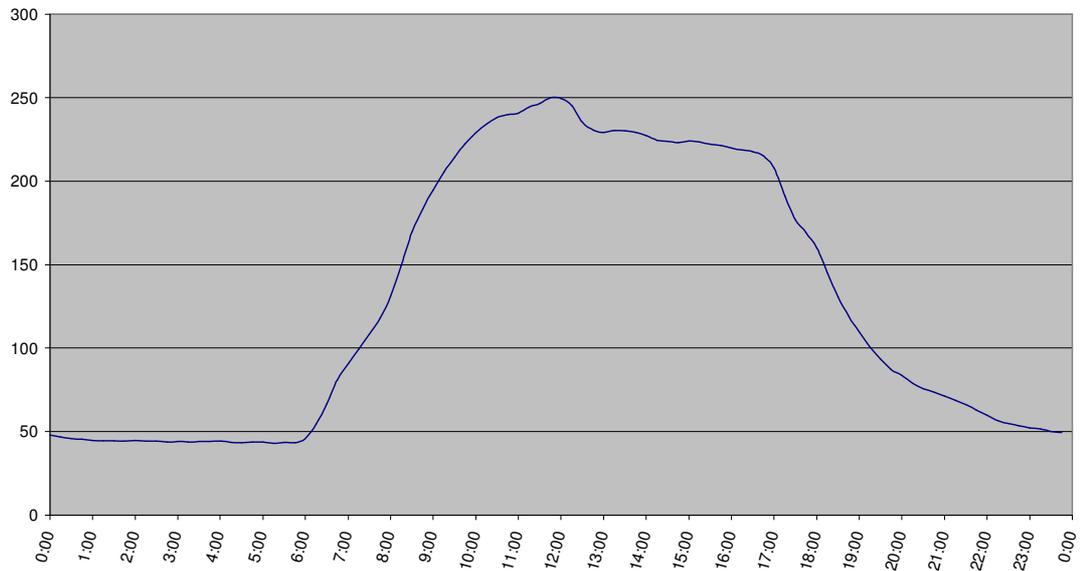
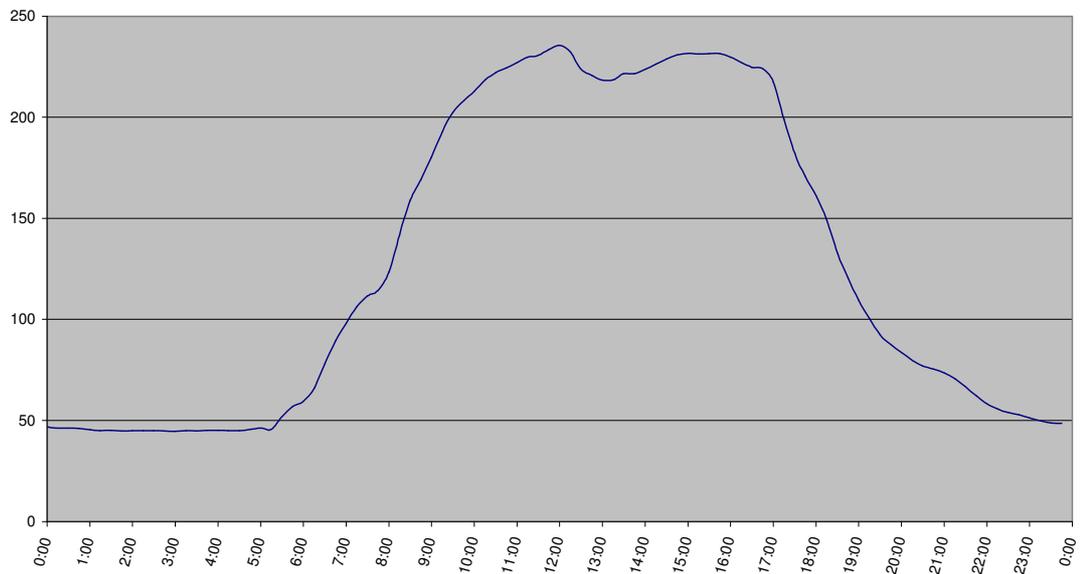
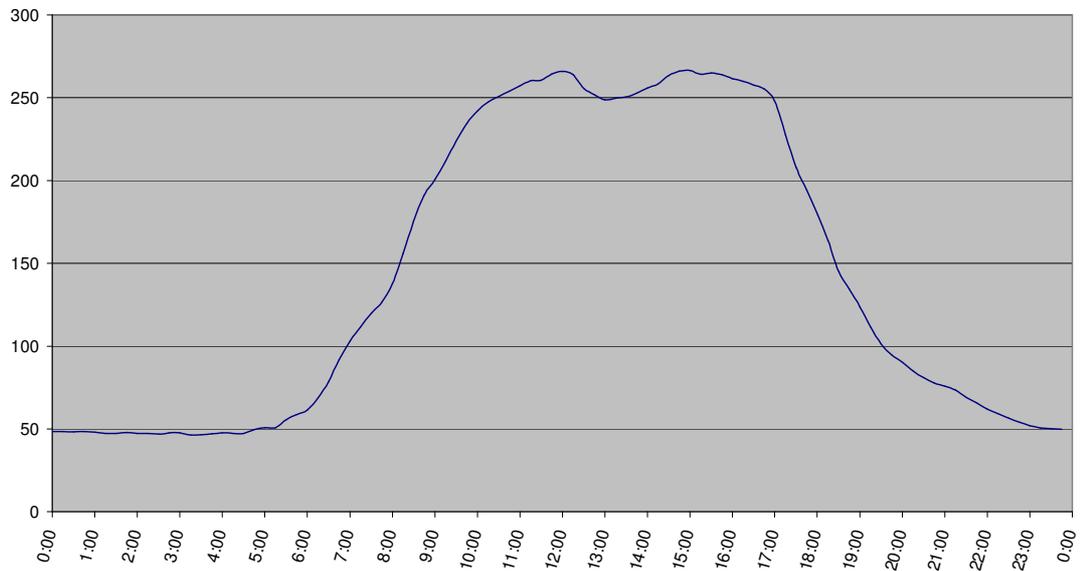
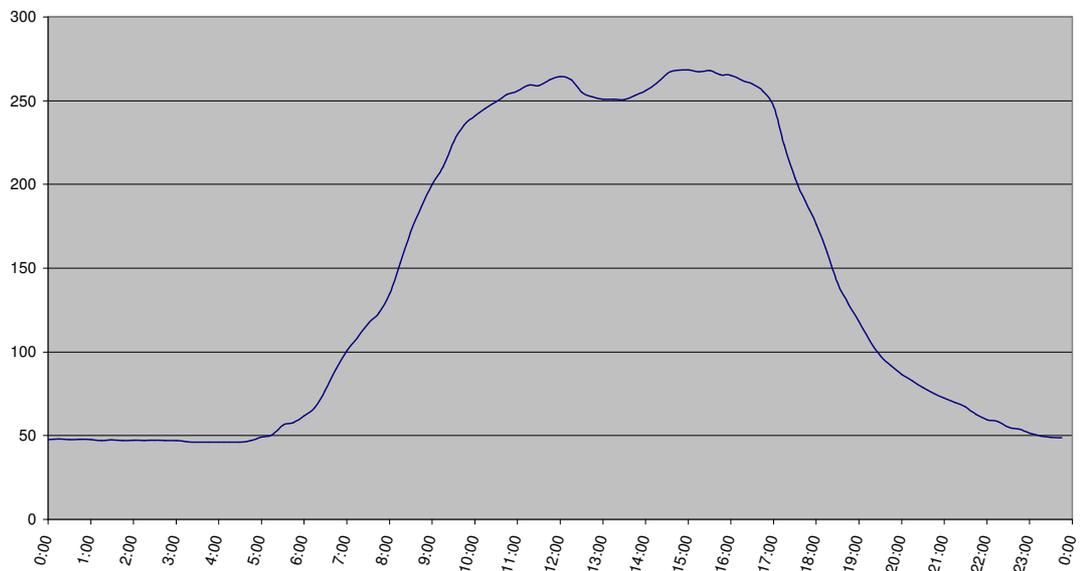


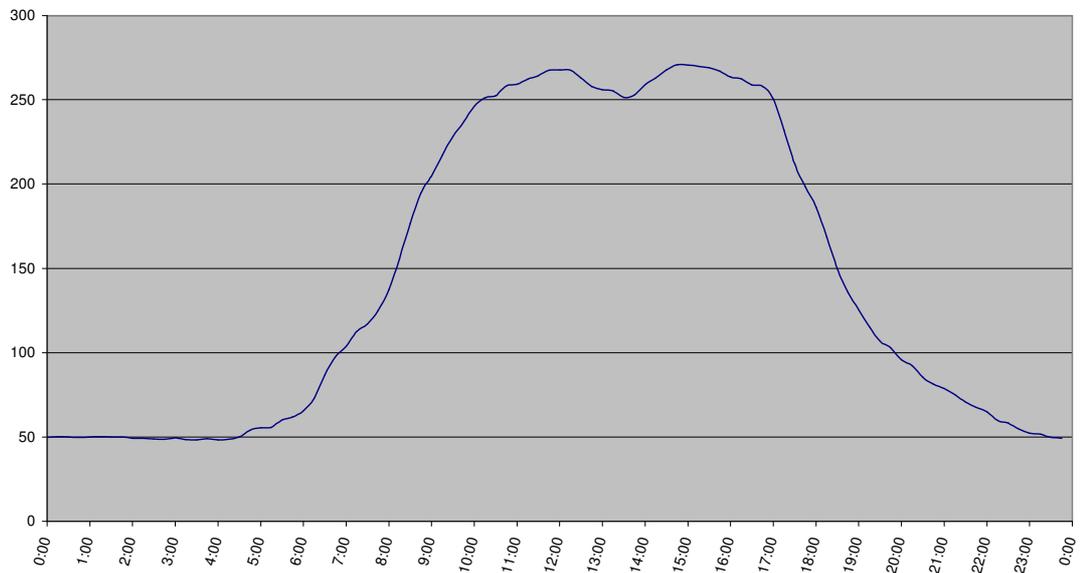
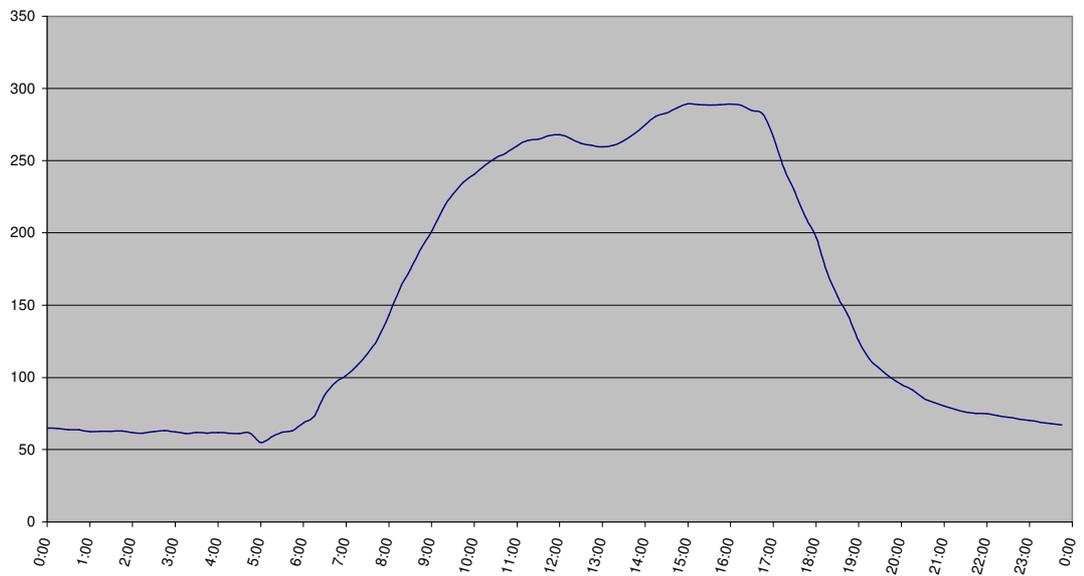
Figura A 1: Demanda média Janeiro/2007

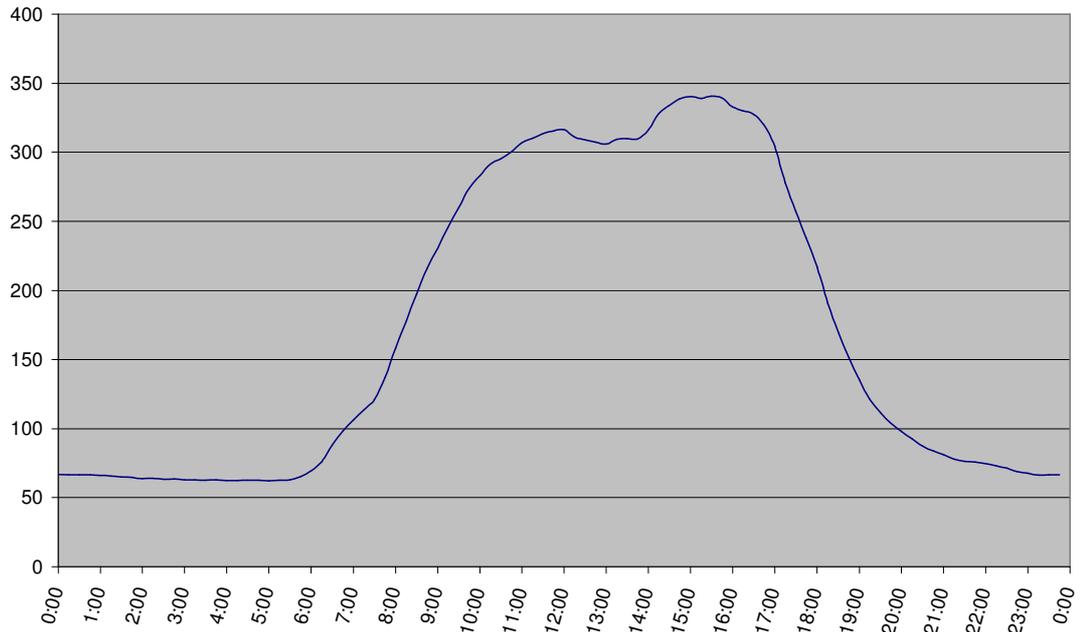
Demanda Média Fevereiro/07**Figura A 2: Demanda média Fevereiro/2007****Demanda Média Março/07****Figura A 3: Demanda média Março/2007**

Demanda Média Abril/06**Figura A 4: Demanda média Abril/2007****Demanda Média Maio/06****Figura A 5: Demanda média Maio/2007**

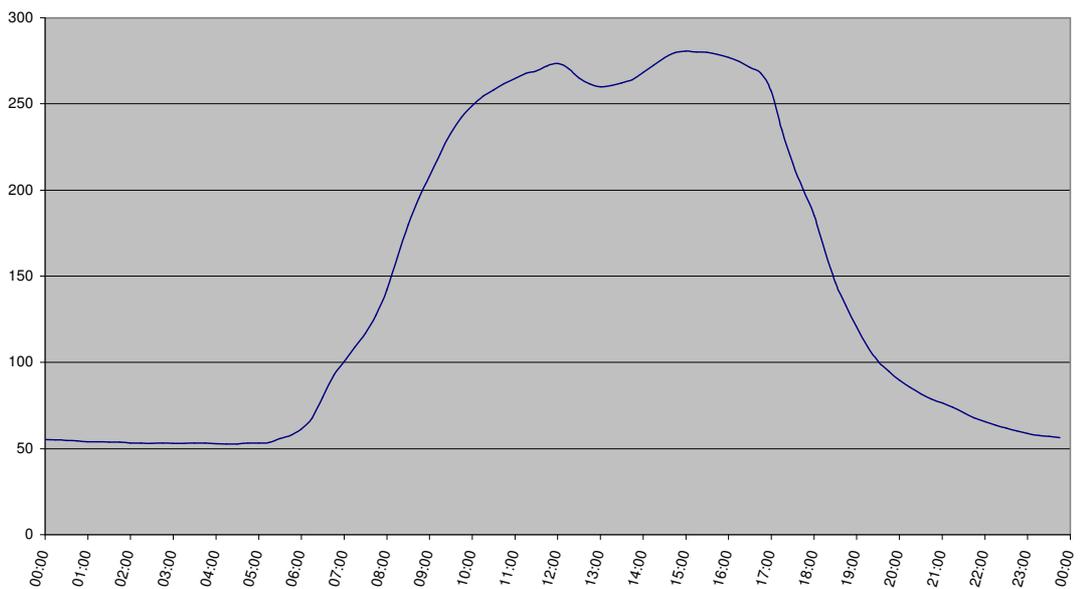
Demanda Média Junho/06**Figura A 6: Demanda média Junho/2006****Demanda Média Julho/06****Figura A 7: Demanda média Julho/2006**

Demanda Média Agosto/06**Figura A 8: Demanda média Agosto/2006****Demanda Média Setembro/06****Figura A 9: Demanda média Setembro/2006**

Demanda Média Outubro/06**Figura A 10: Demanda média Outubro/2006****Demanda Média Novembro/06****Figura A 11: Demanda média Novembro/2006**

Demanda Média Dezembro/06**Figura A 12: Demanda média Dezembro/2006**

A figura A13 apresenta a média anual da demanda de energia diária.

Demanda Média Anual**Figura A 13: Demanda média anual**

REFERÊNCIAS

[1] ASHRAE, AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **STANDARD 90.1: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings**. Atlanta, 2004.

[2] ENERGYPLUS. Software. Disponível em: <http://www.energyplus.gov>. Acesso em 04/04/2007.

[3] ERNEST ORLANDO LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY. **EnergyPlus Engineering Reference – The Reference to EnergyPlus Calculations**. Berkeley, 2007.

[4] ERNEST ORLANDO LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY. **Getting Started with EnergyPlus – Essential Information You Need about Running EnergyPlus**. Berkeley, 2007.

[5] IPCC, INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Paris, 2007.

[6] PROCEL EDIFICA – EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Regulamentação para Etiquetagem Voluntária de Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Florianópolis, 2007.

[7] USGBC, U.S. GREEN BUILDING COUNCIL. **LEED-EB: Green Building Rating System For Existing Buildings – Upgrades, Operations and Maintenance**. Washington DC, 2005.