

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**AVALIAÇÃO DE ÍNDICES DE CONSUMO DE ENERGIA PARA
SUPERMERCADOS**

Natashe Nicoli Branco

São Paulo

2010

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

AVALIAÇÃO DE ÍNDICES DE CONSUMO DE ENERGIA PARA SUPERMERCADOS

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

Natashe Nicoli Branco

Orientador:
Alberto Hernandez Neto

Área de Concentração:
Engenharia Mecânica e
Térmica.

São Paulo

2010

FICHA CATALOGRÁFICA

Branco, Natashe Nicoli

**Avaliação de índices de consumo de energia para
supermercados**

N.N. Branco. – São Paulo, 2010.

71 p.

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

**1. Energia (Índices; Avaliação) 2. Supermercados - Brasil
I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento
de Engenharia Mecânica II. t.**

Ao meu pai, engenheiro Manoel João Pires Branco, por me mostrar a arte e a beleza da Engenharia; e a minha mãe, professora Lucinda Lopes Pinheiro Branco, pelos ensinamentos e valores sobre a vida, transmitidos com muita paciência e amor.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Alberto Hernandez Neto pela orientação, paciência, confiança e estímulo;

A meu grande amigo Diego Moura Cavlac pelo apoio, afeto e compreensão.

RESUMO

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de uma edificação de referência com a ocupação típica de um supermercado segundo a norma ASHRAE 90.1- 2004. O projeto inclui os sistemas de climatização, refrigeração, distribuição de água e iluminação, além das cargas internas (equipamentos e pessoas) e características construtivas da envoltória, como materiais das paredes, piso, teto, janelas e área envidraçada.

A edificação foi simulada por meio do aplicativo Energy Plus para cinco cidades brasileiras: Belém, Brasília, Porto Alegre, Rio de Janeiro e São Paulo.

Os resultados permitiram observar a influência do clima no consumo de energia, realizar uma análise de sensibilidade do perfil de consumo da edificação e determinar índices energéticos de referência para supermercados localizados nas regiões citadas acima.

Os valores aqui apresentados podem ser comparados apenas com outros de edifícios semelhantes, ou seja, que apresentem mesma geometria, funcionalidade, carga térmica e localização.

Palavras-chaves: *Climatização, Consumo de Energia, Índices de Referência, Refrigeração, Supermercados.*

ABSTRACT

This paper presents the development of a reference building with a typical schedule occupancy of a supermarket according to ASHRAE Standard 90.1-2004. The project includes systems for air conditioning, refrigeration, water distribution and lighting, and internal loads (equipment and people) and constructive characteristics of the envelope, as materials of walls, floor, ceiling, windows and glass area.

The building was simulated by the software Energy Plus for five Brazilian cities: Belém, Brasília, Porto Alegre, Rio de Janeiro and Sao Paulo.

The results showed the influence of climate on energy consumption, provided data for a sensitivity analysis for the energy consumption profile of the building and references for energy indexes to supermarkets located in the regions mentioned above.

The values here presented can be compared only with others of similar buildings, ie, having the same geometry, functionality, thermal load and location.

Keywords. *Air Conditioning, Power Consumption, Benchmarks, Refrigeration, Supermarkets.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 - Variação da temperatura global nos últimos 50 anos (SILVA, 2008).....	16
Figura 1.2 - Perfil de consumo de supermercados (PANESI, 2008).....	18
Figura 1.3 - Demanda de um supermercado genérico (PANESI, 2008).....	19
Figura 2.1 - CIE (MJ/m ² /ano) em função da idade da edificação (ano).....	25
Figura 2.2 - CIE (MJ/m ² /ano) em função da área construída (m ²).....	25
Figura 2.3 - CIE (MJ/m ² /ano) em função do número de usuários.....	25
Figura 2.4 - CIE (MJ/m ² /ano) em função do tempo de operação (horas).....	25
Figura 2.5 - Benchmarking para cinco atividades comerciais (CARLO, 2008).....	30
Figura 2.6 - Modelo tridimensional da edificação comercial desenvolvida por Silva e Neto (2010)	32
Figura 2.7 - Matriz energética do edifício comercial desenvolvido por Silva e Neto (2010).	32
Figura 4.1 - Modelo tridimensional do supermercado.....	35
Figura 4.2 - Diagrama esquemático do sistema de condicionamento de ar para modelagem.....	37
Figura 4.3 - Diagrama esquemático do sistema de distribuição de água.....	39
Figura 5.1 - Temperatura de bulbo seco externa durante o dia de projeto.....	40
Figura 5.2 - Consumo de energia elétrica pelo sistema de climatização durante o dia de projeto.....	41
Figura 5.3 - Demanda total de energia elétrica durante o dia de projeto.....	41
Figura 5.4 - Matriz energética de consumo do supermercado localizado em São Paulo.....	43
Figura 5.5 - Consumo mensal de energia elétrica e gás natural.....	44
Figura 5.6 - Consumo mensal de energia elétrica pelo sistema de climatização e refrigeração.....	45
Figura 5.7 - Consumo do supermercado com a potência dos balcões de refrigeração 20% maior.....	46
Figura 5.8 - Consumo do supermercado com a potência dos balcões de refrigeração 20% menor.....	47
Figura 5.9 - Consumo do supermercado com COP do sistema de refrigeração maior 20%.....	48
Figura 5.10 - Consumo do supermercado com COP do sistema de refrigeração menor 20%.....	48
Figura 5.11 - Consumo do supermercado com COP do sistema de climatização do ar maior 20%.....	50
Figura 5.12 - Consumo do supermercado com COP do sistema de climatização do ar	

menor 20%.....	50
Figura 5.13 - Consumo do supermercado com mais pessoas.....	51
Figura 5.14 - Consumo do supermercado com menos pessoas.....	52
Figura 5.15 - Influência de parâmetros dos sistemas de refrigeração e climatização no consumo de energia do supermercado de referência localizado em São Paulo	53
Figura 5.16 - Consumo de energia elétrica pelo sistema de refrigeração e climatização em cinco cidades brasileiras.....	54
Figura 5.17 - Matriz energética de consumo do supermercado localizado em Belém.....	55
Figura 5.18 - Matriz energética de consumo do supermercado localizado em Brasília.	55
Figura 5.19 - Matriz energética de consumo do supermercado localizado em Porto Alegre.....	56
Figura 5.20 - Matriz energética de consumo do supermercado localizado no Rio de Janeiro.....	56
Figura 5.21 - Consumo mensal de energia por cidade.....	57
Figura 5.22 - Consumo de energia (eletricidade e gás natural) por ano e metro quadrado de área construída.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Fatores de carga e de demanda típicos de supermercados utilizados pela CELESC.....	22
Tabela 2.2 - Fatores significantes para o modelo desenvolvido por Chung, Hui e Lam (2004)	24
Tabela 2.3- Valores obtidos das variáveis X_i em 30 supermercados de Hong Kong (CHUNG, HUI e LAM, 2004).....	24
Tabela 2.4 - Parâmetros considerados na construção dos modelos desenvolvidos por Carlo (2008).....	28
Tabela 2.5 - Índices energéticos obtidos por Silva e Neto (2010).....	33
Tabela 2.6 - Análise de sensibilidade da edificação comercial apresentada por Silva e Neto (2010)	33
Tabela 4.1 - Características das cidades brasileiras analisadas.....	35
Tabela 4.2 - Materiais opacos (ASHRAE, 2004).....	36
Tabela 4.3 - Características das janelas (ASHRAE, 2004).....	36
Tabela 4.4 - Características das zonas térmicas.....	38
Tabela 4.5 - Características dos balcões e câmaras frigoríficas localizados no setor de vendas.....	38
Tabela 4.6 - Características dos balcões e câmaras frigoríficas localizados na deli, padaria e produção.....	39
Tabela 5.1 - Média anual do consumo do supermercado por área (m^2) climatizada.....	42
Tabela 5.2 - Distribuição do consumo de energia do supermercado analisado.....	42
Tabela 5.3 - Consumo mensal de energia do supermercado localizado em São Paulo.....	43
Tabela 5.4 - Consumo mensal de energia elétrica do supermercado localizado em São Paulo.....	44
Tabela 5.5 - Consumo do estabelecimento ($kWh/ano/m^2$) de acordo com a potência dos balcões de refrigeração.....	46
Tabela 5.6 - Distribuição do consumo de energia do supermercado analisado.....	46
Tabela 5.7 - Consumo do estabelecimento ($kWh/ano/m^2$) de acordo com o COP do sistema de refrigeração.....	47
Tabela 5.8 - Distribuição do consumo de energia do supermercado analisado.....	48
Tabela 5.9 - Consumo do estabelecimento ($kWh/ano/m^2$) de acordo com o COP do sistema de resfriamento de ar.....	49
Tabela 5.10 - Distribuição do consumo de energia do supermercado analisado.....	49
Tabela 5.11 - Consumo do estabelecimento ($kWh/m^2/ano$) de acordo com o número de	

usuários.....	51
Tabela 5.12 - Distribuição do consumo de energia do supermercado analisado.....	51
Tabela 5.13 - Resumo dos resultados da Análise de Sensibilidade.....	52
Tabela 5.14 - Consumo de energia (MWh/ano) por sistema e região.....	53
Tabela 5.15 - Consumo mensal de energia por cidade.....	57
Tabela 5.16 - ICEPA para supermercados localizados em cinco cidades brasileiras.....	58
Tabela 5.17 - Variação do consumo mensal com relação ao menor valor.....	60
Tabela 5.18 - Índice Energético Normalizado (IEN).....	60
Tabela 5.19 - IEN mensal.....	61
Tabela 5.20 - Variações máximas dos índices ICEPA e IEN.....	61
Tabela A.1 - Características do vidro da janela do setor de vendas do supermercado de referência	67
Tabela A.2 - Características das paredes externas do supermercado de referência.....	67
Tabela A.3 - Características do telhado do supermercado de referência.....	68
Tabela A.4 - Características do piso do supermercado de referência.....	68
Tabela B.1 - Consumo mensal do supermercado localizado em Belém.....	69
Tabela B.2 - Consumo mensal do supermercado localizado em Brasília.....	69
Tabela B.3 - Consumo mensal do supermercado localizado em Porto Alegre.....	70
Tabela B.4 - Consumo mensal do supermercado localizado em Rio de Janeiro.....	70
Tabela C.1 - Temperatura de bulbo seco (°C).....	71

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

A	Área (m ²);
AHS	Ângulo horizontal de sombreamento (graus);
AVS	Ângulo vertical de sombreamento (graus);
AVAC	Sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado;
b	Coeficiente da correlação de Chung (2004);
CEC	Custo da energia conservada (R\$/kWh);
CIE	Consumo Intensivo de Energia (MJ/ m ² /ano);
CFC	Clorofluorcarbono;
COP	Coeficiente de desempenho;
d	Taxa de desconto em base anual (adimensional);
ΔE	Energia economizada pela implementação da medida de conservação da energia, em relação a um caso base (kWh);
HCFC	Hidroclorofluorcarbonos;
I	Índice energético;
ΔI	Variação percentual do índice energético;
IC	Indicador de Consumo segundo Carlo (2008) (adimensional);
ICEPA	Índice Consumo Energético por Área (kWh/m ² /ano);
IEN	Índice Energético Normalizado (kWh/m ² ano°C);
n	Vida útil da medida da conservação da energia (anos);
PJF	Percentual de área de janela na fachada;
SHGC	Fator solar dos vidros;
TCC	Custo da medida da conservação da energia (R\$);
U	Transmitância térmica (W/m ² K);
V	Volume da edificação (m ³).
x	Variável adotada por Chung, Hui e Lam (2004), vide Tabela 2.2, pág 22 deste trabalho.

Subscritos

cob	Característica da cobertura da envoltória;
env	Característica da envoltória;
i	Característica da cidade analisada;
mín	Condição mínima;
norm	Parâmetro normalizado;

pcob	Projeção da cobertura da envoltória;
tot	Total.

Entidades e Programas

ABRAS	Associação Brasileira de Supermercados.
ABRAVA	Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento.
AMEC	Associação Francesa de gerenciamento de energia em supermercados
ASHARAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
CICE	Comissão Interna de Conservação de Energia.

SUMÁRIO

1	Introdução.....	15
1.1	Motivação.....	15
1.2	Supermercados brasileiros	17
1.3	Escopo do trabalho	20
1.3.1	Objetivos	20
1.3.2	Requisitos	20
2	Revisão Bibliográfica	20
2.1	Metodologias para análise de consumo energético	23
2.1.1	Modelo de regressão linear	23
2.1.2	Simulação no software ClimTop	26
2.1.3	Simulação no software EnergyPlus	26
3	Metodologia adotada	34
4	Características da edificação	34
4.1	Localização geográfica	34
4.2	Envoltória	35
4.3	Cargas internas	36
4.4	Sistema de climatização	37
4.5	Sistema de refrigeração	38
4.6	Sistema de abastecimento e aquecimento água	39
5	Resultados	40
5.1	Simulação do supermercado localizado em São Paulo para o “dia de projeto”	40
5.2	Simulação anual do supermercado localizado em São Paulo	41
5.3	Análise de sensibilidade do consumo de energia do supermercado localizada em São Paulo	45
5.4	Comparação do consumo energético de supermercados localizados em diferentes cidades brasileiras	53
5.5	Determinação de índices energéticos de referência para supermercados	58
6	Conclusões	63
7	Referências Bibliográficas	65

Apêndice A – Características dos materiais da envoltória	67
Apêndice B – Consumo mensal do supermercado	69
Apêndice C – Temperatura de bulbo seco	71

1 Introdução

1.1 Motivação

A energia elétrica é um recurso caro e obtido, muitas vezes, de forma não renovável. Seu uso excessivo e pouco eficiente tem preocupado muitas pessoas conscientes do problema que isso poderá acarretar. Por esse motivo, o termo “desenvolvimento sustentável” vem sendo muito utilizado. Trata-se de uma tentativa de harmonizar o desenvolvimento econômico com a conservação ambiental, de forma que as necessidades da geração atual sejam supridas, sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações. (PINTO, 2005)

Na década de 70, ocorreram duas grandes crises internacionais envolvendo o abastecimento de petróleo – a primeira em 1973 e a segunda em 1979 – conscientizando a população de que os recursos naturais são finitos e que há a necessidade de utilizá-los de forma racional. O segundo choque intensificou a discussão sobre o uso da energia. Desde então, o Brasil iniciou programas de incentivo à redução da demanda de energéticos (BERNDSSEN, 2007).

Uma grande parcela da energia disponibilizada no mundo é produzida pela queima de combustíveis fósseis. Esta reação, quando incompleta, libera gases como o monóxido de carbono, dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio, entre outros, que são nocivos à saúde humana e ao meio ambiente. Além destes, produz também o dióxido de carbono (CO_2), gás considerado um dos principais responsáveis pela elevação da temperatura terrestre (efeito estufa). Esse fenômeno tem causado problemas graves, como o excesso de chuvas em algumas regiões, secas em outras, derretimento de geleiras nos pólos, destruição de florestas, morte de animais, entre outros. A Figura 1.1 ilustra a variação da temperatura global nos últimos 150 anos.

Visando a redução e o controle das emissões de CO_2 , em 1997 ocorreu uma reunião na cidade de Quioto no Japão, com representantes de 159 nações e que resultou na adoção de um protocolo. O Protocolo de Quioto entrou em vigor em 16 de fevereiro de 2005 e define que os países industrializados devem reduzir pelo menos 5,2% suas emissões em relação aos níveis de 1990, sendo penalizados caso não o façam. Liberar menos gases nocivos não significa apenas desenvolver formas “limpas” de produção de energia, como solar ou eólica, mas sim utilizá-la da melhor maneira possível.

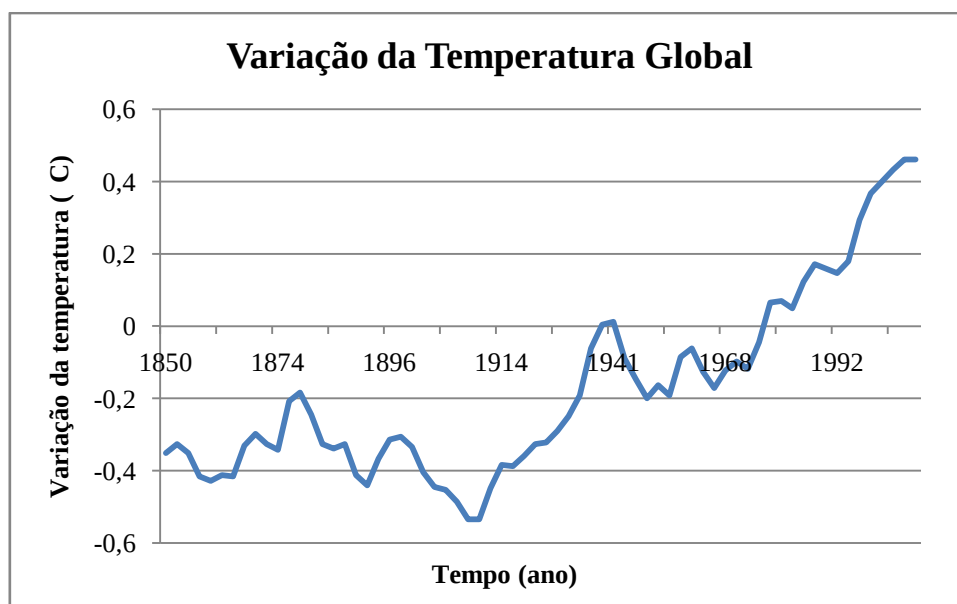


Figura 1.1 - Variação da temperatura global nos últimos 50 anos (SILVA, 2008).

“A conservação de energia engloba não apenas a quantidade de energia primária necessária para propiciar o consumo de um mesmo nível de energia útil, mas, principalmente, a construção de um estilo de desenvolvimento, que implique no mais baixo perfil de demanda de energia útil para um mesmo padrão de satisfação das necessidades sociais e ambientais.” (BERNDSEN, 2007)

As preocupações com o meio ambiente, sustentabilidade, suprimento de energia no longo prazo e com fatores econômicos, como a recente crise financeira iniciada nos Estados Unidos, que afetou tanto países desenvolvidos como subdesenvolvidos, tem incentivado os governos a investirem em programas que visem o uso da energia disponibilizada com responsabilidade ambiental e social, eliminando desperdícios e cooperando com o desenvolvimento sustentável. Além desses fatores, deve-se acrescentar a necessidade de redução de custos operacionais.

A primeira lei brasileira referente à eficiência energética surgiu em 2001, após um “apagão” nacional seguido de racionamento de energia. Designada como Lei nº 10295, ela dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Nacional de Energia e foi regulamentada pelo Decreto nº 4059/01 que estabeleceu a criação de “níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos eficiência energética, para máquinas, aparelhos e edificações”, além de identificar a necessidade de “indicadores técnicos e de uma regulamentação específica” que estabeleçam a obrigatoriedade dos níveis de eficiência no país (CARLO, 2008).

A Agência Nacional de Energia Elétrica firmou um contrato de concessão com as distribuidoras de energia, que prevê a destinação de um percentual da receita operacional líquida

em programas de eficiência energética. A Eletropaulo apresenta o maior orçamento do país para estes projetos (20% de todo o investimento das concessionárias no setor). Segundo um estudo feito com base nas informações da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, ligada ao Ministério de Minas e Energia), é possível reduzir 10,6% do consumo de energia elétrica do setor comercial (ou 56 TWh) e 14,6% na indústria (ou 164 TWh), por meio de ações tecnológicas que priorizem o uso eficiente (AULÍSIO, 2006).

Devido a esses fatores, o mercado nacional tem sido ampliado para empresas que realizam projetos de eficiência energética, conhecidas como *Escos*. Elas começaram a ganhar espaço com o apagão energético de 2001, quando o setor privado sentiu-se obrigado a economizar energia. “Agora, a eficiência energética está sendo incorporada à gestão das companhias. Hoje é um movimento mais estrutural, não para remediar uma situação pontual de falta de energia”, diz Maria Cecília Amaral, diretora executiva da ABESCO. Segundo ela, o País perde 17 bilhões de reais por ano com o desperdício de energia. “Aumentar a eficiência pode significar redução de investimentos em geração – energia suja de termelétricas a óleo e carvão, um caminho que o governo equivocadamente começa a trilhar” (VIALLI, 2009) com o desenvolvimento do Projeto Pré-sal. A Eficien, a MGD Engenharia e a Nittoguen são exemplos de *Escos* que atuam no Brasil.

Segundo Vialli (2009), em 2008 o setor elétrico faturou R\$ 1,4 bilhão, o que representa um aumento de 35% em relação ao ano anterior e, em 2009, o acréscimo deve chegar a 70%. Este fato foi intensificado após o apagão ocorrido no dia 10 de novembro de 2009 (madrugada de terça para quarta-feira) no Brasil e que, mais uma vez, evidenciou o caos que a falta de energia traz à população, economia e indústria.

1.2 Supermercados brasileiros

Panesi (2008) afirma que os supermercados operam com margem de lucro pequena, por isso os custos de energia representam um papel importante em sua competitividade e eficácia. A Figura 1.2 ilustra a matriz energética de um supermercado típico. Pode-se observar que a maior parte do consumo é destinada às instalações de climatização e refrigeração. Em alguns casos, equipamentos de refrigeração e congelamento são responsáveis por até 70% do consumo total de energia da loja. Por isso, esses sistemas devem ser regularmente inspecionados, controlados e, se necessário, substituídos por outros mais eficientes.

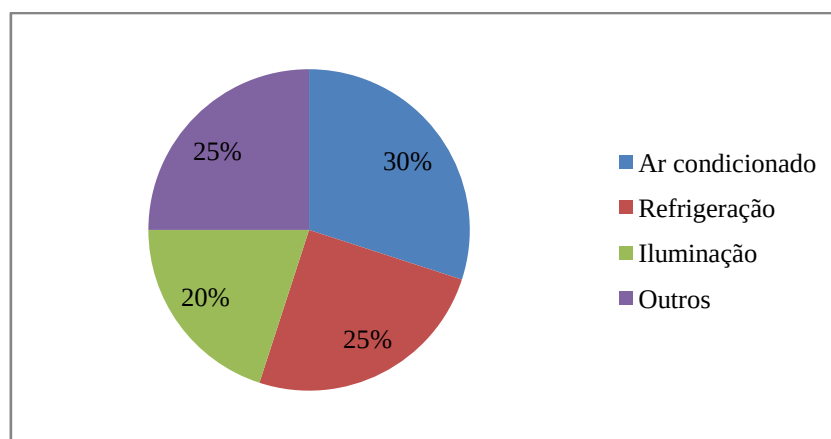


Figura 1.2 - Perfil de consumo de supermercados (PANESI, 2008).

De acordo com o Manual de Boas Práticas em Supermercados (MMA, 2009), o Brasil libera para a atmosfera toneladas de fluidos refrigerantes – clorofluorcarbonos (CFCs) e hidroclorofluorcarbonos (HCFCs) – por ano, o que representa uma das maiores taxas de emissão do mundo. Eles degradam a camada de ozônio e contribuem para a elevação da temperatura global (efeito estufa). Os supermercados utilizam estes fluidos nos sistemas de refrigeração e apresentam as maiores taxas de emissões (cerca de 40% do total das emissões do país). Em alguns casos, o desperdício aproxima-se de 100%.

O protocolo de Montreal – acordo internacional que visa à proteção da camada de ozônio – determinou a eliminação completa dos CFCs e estipulou um prazo de até 2015 para a eliminação dos seus principais substitutos: os HCFCs. Os HFCs, como o R-404, R-407c e R-427^a, são fluidos alternativos já existentes no mercado. Estes não agredem a camada de ozônio, porém influenciam no aumento da temperatura global, além de serem mais caros. Há ainda os fluidos naturais como a amônia, os hidrocarbonetos, o dióxido de carbono, a água e o ar, que são mais adequados às demandas ambientais, mas exigem tecnologia mais onerosa para serem processados (MMA, 2009).

No dia 26 de junho de 2009, o Ministério do Meio Ambiente, com o apoio da Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA) e a Associação Brasileira de Supermercados (ABRAS), realizou um seminário sobre “Refrigeração em Supermercados”, com o propósito de contribuir para que o Brasil atinja as metas do Protocolo de Montreal, as quais visam a redução da emissão de gases que agravam o efeito estufa e degradam da camada de ozônio. O evento reuniu fornecedores, especialistas, supermercadistas e consultores da área, e apresentou a necessidade de eficiência energética no setor, a mobilização internacional no aprimoramento dos sistemas de refrigeração, os prazos

para a adoção de fluidos refrigerantes ecologicamente corretos, as conseqüências dos vazamentos, novos equipamentos e as melhores práticas de operação (HILÁRIO, 2008).

Segundo o presidente da ABRAVA, João Roberto Minozzo, a união de forças entre os diferentes setores em prol do meio ambiente resulta em eficiência energética e, conseqüentemente, na modernização dos supermercados (HILÁRIO, 2008).

O seminário resultou na produção do “Manual de Boas Práticas em Supermercados para Sistemas de Refrigeração e Ar Condicionado”, cujo objetivo é orientar e concientizar os empresários e profissionais do setor envolvidos na compra, operação e manutenção dos equipamentos da importância das boas práticas para economizar energia e reduzir custos, sem danificar o ambiente. O manual fornece informações como custos envolvidos nos sistemas de refrigeração e ar condicionado, os desperdícios que costumam ocorrer e comprometer o lucro da loja, como evitá-los ou reduzi-los, instalações, manutenção e técnicas de operação (HILÁRIO, 2008).

Sabe-se que a demanda por energia em um supermercado não é constante ao longo do dia. Ela apresenta valores máximos entre às 9 e às 18 horas, período no qual o estabelecimento recebe maior número de usuários. O que evidencia que este fator influencia no consumo do estabelecimento (PANESI, 2008). A Figura 1.3 ilustra a demanda de energia em um supermercado brasileiro durante um dia típico de operação.

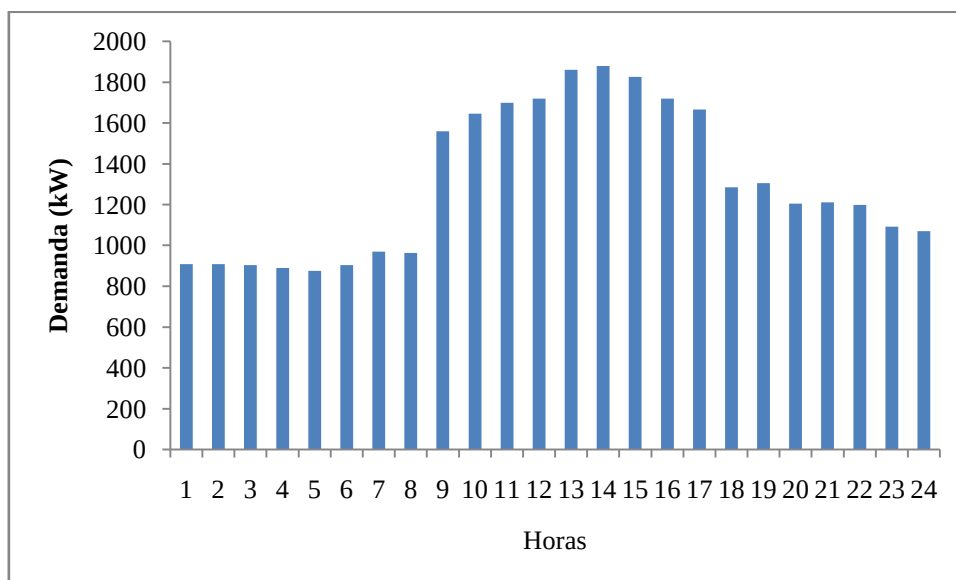


Figura 1.3 – Demanda energética de um supermercado genérico (PANESI, 2008).

1.3 Escopo do trabalho

Este projeto tem como foco a análise do desempenho energético de supermercados.

A geometria da edificação será desenvolvida no aplicativo Sketch Up, segundo a norma da ASHRAE 90.1-2004 e baseada em dados de um supermercado real. Após a geração da geometria, esta será implantada no aplicativo Energy Plus e simulada para cinco cidades brasileiras: Belém, Brasília, Porto Alegre, Rio de Janeiro e São Paulo.

Parâmetros considerados relevantes serão variados para a análise de sua influência no desempenho energético da edificação. Com base nos resultados obtidos com as simulações, serão definidos índices energéticos de referência para supermercados.

1.4 Objetivo

Este trabalho tem como objetivo determinar indicadores energéticos de referência para supermercados localizados em diferentes regiões climáticas do Brasil, para que o consumo destes estabelecimentos possa ser avaliado e aprimorado.

1.5 Requisitos

Os requisitos principais deste projeto são: a elaboração de um edifício de referência com todas as suas características baseadas na norma ASHRAE 90.1-2004, o conhecimento desta norma e o domínio dos softwares Energy Plus, Sketch Up e xEso View.

2 Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica está baseada na pesquisa de metodologias para análise de consumo de energia em supermercados e definição de índices energéticos.

Os denominados índices energéticos são valores que representam o consumo de energia por um período de tempo determinado (por exemplo, hora, mês ou ano) para um determinado tipo de estabelecimento. Estes índices também qualificam o edifício quanto a sua eficiência energética se comparados com valores de referência, geralmente obtidos a partir de edifícios de referência (“*baselines*”), que são instalações desenvolvidas segundo diretrizes de normas e/ou procedimentos de eficiência energética. Como o Brasil ainda não possui uma norma própria,

optou-se se por adotar a norma ASHRAE 90.1-2004 para o desenvolvimento do edifício referência neste trabalho.

Outro termo, muito utilizado para esta finalidade, é nível de referência ou “benchmarks”, que são marcos de eficiência estabelecidos através da formação de um escala de consumo de edificações com atividades semelhantes, geralmente medidos em kWh/ano/m² e MJ/m²/ano.

A Norma 90.1-2004 é uma norma norte-americana de eficiência energética para edificações não-residenciais, baseada em índices de transferência de calor do meio externo para o interno através da envoltória do estabelecimento. A partir da definição do local em que o edifício será construído, a norma estabelece a zona climática e os limites máximos e mínimos de transmitância térmica (U) dos materiais que deverão ser adotados, a resistência térmica de isolantes, o fator solar dos vidros (SHGC), a área de janela na fachada, a orientação solar, o sistema de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC), iluminação, potência dos equipamentos instalados, coeficientes de desempenho (COP), taxa de infiltração de ar, entre outros. No caso de edificações de referência, os parâmetros mais importantes para projeto estão apresentados no apêndice G da norma 90.1. Com esta ferramenta é possível desenvolver uma edificação de referência para análise do consumo energético.

Há dois momentos nos quais pode-se melhorar a eficiência energética de uma edificação: quando a instalação está em fase de projeto e, a outra, quando ela já está operando e exercendo sua função.

No primeiro caso, ou seja, durante o projeto, é possível fazer algumas análises com relação ao desempenho energético da edificação que será construída, por meio de métodos numéricos e computacionais, de modo que, caso o resultado obtido não seja satisfatório, são possíveis alterações visando sua eficiência. Dentre elas, pode-se alterar a arquitetura do prédio, materiais de construção, quantidade, tamanho e orientação solar das janelas, localização e qualidade dos equipamentos de refrigeração, ar condicionado e iluminação. Mudar um projeto no começo é, sem dúvida, menos custoso do que alterá-lo após sua implantação.

No caso do edifício já estar operando, a redução do consumo energético pode ser obtida através do adequado gerenciamento dos seus usos finais, adotando-se equipamentos mais eficientes, mudando-se hábitos dos usuários e investindo em projetos arquitetônicos que visem o melhor aproveitamento dos recursos naturais, como a iluminação diurna e orientação solar do estabelecimento. Porém, as medidas necessárias para tornar um estabelecimento energeticamente eficiente, nem sempre são acessíveis, principalmente em termos econômicos.

A CELESC Distribuição S.A. (Centrais Elétricas de Santa Catarina) desenvolveu o manual “Eficiência Energética e Gestão da Energia na Indústria” com objetivo de disponibilizar informações técnicas e requisitos necessários à execução de projetos de eficiência energética, focando os sistemas de ar condicionado, iluminação, motores e ar comprimido. O manual também aborda ações que reduzem os gastos de energia, como a correção de reativos, a instalação de controlador de demanda para melhoria do fator de carga¹ e a implantação de uma Comissão Interna de Conservação de Energia (CICE). Segundo ele, os principais indicadores quantitativos dos projetos de eficiência energética são a energia economizada (kWh/ano) e a redução de demanda de potência (kW). O potencial de economia de energia pode ser identificado efetuando-se o diagnóstico das instalações e dos equipamentos elétricos com o levantamento completo de seus dados, como consumo e desempenho.

Em alguns casos, apenas a alteração na forma de operação dos equipamentos elétricos e sua adequada manutenção podem trazer reduções significativas no consumo do estabelecimento. Em outros, há a necessidade de substituição destes por outros que apresentam melhor eficiência energética.

Tabela 2.1 - Fatores de carga e de demanda² típicos de supermercados utilizados pela CELESC. (CELESC, 2008)

	Supermercados, Hipermercados (comércio varejista com área de venda superior a 5000 m²)	Supermercados (comércio varejista com área de venda entre 300 e 5000 m²)
Código do Ramo	5211	5212
Fator de demanda típico	66,11	66,11
Fator de carga típico	51,10	51,10

Segundo Panesi (2008), é possível realizar operações de combate ao desperdício de energia em supermercados sem grandes investimentos, apenas aplicando a técnica de manutenção preventiva e inspeção regular dos equipamentos da instalação, como termostatos nas câmaras de refrigeração e nas torres de resfriamento, realizando o degelo dos evaporadores das câmaras de refrigeração, otimizando a forma de armazenamento dos produtos nesses

¹ Fator de carga é a razão entre a demanda por energia média e a demanda máxima da unidade consumidora, ocorridas em um mesmo intervalo de tempo especificado. Trata-se de um número adimensional.

² Fator de demanda é a razão entre a demanda máxima e a carga instalada na unidade consumidora, em um mesmo intervalo de tempo especificado. Trata-se de um número adimensional.

equipamentos, mantendo a temperatura correta de condicionamento dos produtos, verificando o desempenho dos refrigeradores, sistemas de ar condicionado e iluminação.

Informações como custos envolvidos nos sistemas de refrigeração e ar condicionado, os desperdícios que costumam ocorrer e comprometer o lucro da loja, como evitá-los ou reduzi-los, instalações, manutenção e técnicas de operação também estão descritas no “Manual de Boas Práticas em Supermercados para Sistemas de Refrigeração e Ar Condicionado” (2009) desenvolvido pelo Ministério do Meio Ambiente, ABRAVA e ABRAS.

2.1 Metodologias para análise de consumo energético

Nesta seção serão apresentados três métodos de análise do consumo energético de edificações. Há muitos outros – como o modelo matemático desenvolvido por Ducoulombier; Teyssedou e Srin (2005) baseado nas equações de transferência de calor, coeficientes globais de troca de calor e coeficientes de desempenho dos equipamentos refrigerantes – que não serão abordados por não fornecerem informações adicionais aos resultados desejados.

2.1.1 Modelo de regressão linear

Chung; Hui e Lam (2004) desenvolveram um método de regressão linear para determinar o nível de referência de consumo intensivo de energia (CIE). Esse método baseia-se em quatro etapas: (a) coleta de dados; (b) ajuste climático do CIE (MJ/m²/ano) pela normalização do grau-dia³; (c) construção do modelo de regressão linear para descobrir a relação entre o CIE e os fatores significantes da edificação; (d) normalização dos CIEs para os fatores significantes com o objetivo de formar uma Tabela de níveis de referência.

O modelo tem a seguinte forma:

$$CIE = a + b_1 \cdot x_1^* + b_2 \cdot x_2^* + \dots + b_k \cdot x_k^* + \varepsilon = a + \sum_{i=1}^9 b_i \cdot \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s_i} \right) + \varepsilon \quad (1)$$

onde a é a intersecção, $b_1, \dots, b_k$ são coeficientes de regressão que determinam a influência dos fatores, $x_1^*, \dots, x_k^*$ são os fatores significantes normalizados e ε é o erro médio do modelo.

A normalização do CIE para os fatores significantes é derivada da Equação (1) e está descrita na Equação (2).

³ Grau-dia: valor obtido da diferença entre a temperatura média diária e a temperatura base definida.

$$CIE_{norm} = CIE_0 - b_1 \cdot x_1^* - b_2 \cdot x_2^* - \dots - b_k \cdot x_k^* \quad (2)$$

onde CIE_0 é o CIE observado e CIE_{norm} é o índice normalizado de consumo de energia sem o efeito do desvio de fatores secundários.

Chung; Hui e Lam (2004) utilizaram o método para desenvolver uma tabela de níveis de referência para um subgrupo de supermercados de Hong Kong que possuem um sistema central de ar condicionado e área construída superior a 75 m². Os fatores selecionados para construir o modelo estão apresentados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Fatores significantes para o modelo desenvolvido por Chung; Hui e Lam (2004).

Fator	Variável	Nome da variável
Idade	x_1	Idade do edifício.
Ocupação	x_2	Área interna;
	x_3	Período de operação;
	x_4	Número de clientes por ano.
Pessoas	x_5	Conduta dos ocupantes e fatores de manutenção;
	x_6	Temperatura interna de <i>set point</i> (verão).
Sistemas elétricos	x_7	Tipo do equipamento Chiller;
	x_8	Equipamentos de iluminação;
	x_9	Controle de iluminação

Trinta supermercados foram analisados para obter uma base de níveis de referência de eficiência energética. O resumo da pesquisa está apresentado na Tabela 2.3, nos quais a temperatura base adotada foi de 18,3°C (temperatura média diária registrada em Hong Kong).

Tabela 2.3 - Valores obtidos das variáveis x_i em 30 supermercados de Hong Kong (CHUNG; HUI e LAM, 2004).

Variável	Valor mínimo	Valor máximo	Média ($\bar{X}_i$)	Desvio padrão (S_i)
x_1	3	42	21,13	11,292
x_2	76	640	219,37	175,76
x_3	4380	8760	7071,90	1777,9
x_4	36500	912500	441350	229,057
x_5	0	6	1,9667	1,7317
x_6	20	26	22,938	1,5713
x_7	2,3	2,5	2,42	0,0714
x_8	49,279	100	72,101	0,057
x_9	0	0,2	0,034	0,0627

Chung; Hui e Lam (2004) avaliaram a influência das variáveis em seu modelo e descartaram quatro delas: temperatura de controle do sistema de ar condicionado, tipo de

resfriador, nível de controle e equipamentos de iluminação, sendo que seu modelo final esta descrito na Equação (3).

$$\begin{aligned}
 EUI = & 5852,6 + 972,7 \cdot \left(\frac{\text{idade da construção} - 21,13}{11,29} \right) \\
 & - 1519,2 \cdot \left(\frac{\text{área de piso} - 219,37}{175,76} \right) \\
 & + 588,4 \cdot \left(\frac{\text{período de operação} - 7071,9}{1777,9} \right) \\
 & + 470,3 \cdot \left(\frac{\text{número de clientes} - 441350}{299057} \right) \\
 & - 411,5 \cdot \left(\frac{\text{conduta dos ocupantes} - 1,97}{1,73} \right)
 \end{aligned} \quad (3)$$

Os resultados obtidos foram apresentados na forma de gráficos e alguns deles estão reproduzidos nas Figuras 2.1, 2.2, 2.3 e 2.4. Estas figuras apresentam o consumo intensivo de energia (CIE) em função, respectivamente, da idade da edificação, da área construída, do número de usuários e do tempo de operação.

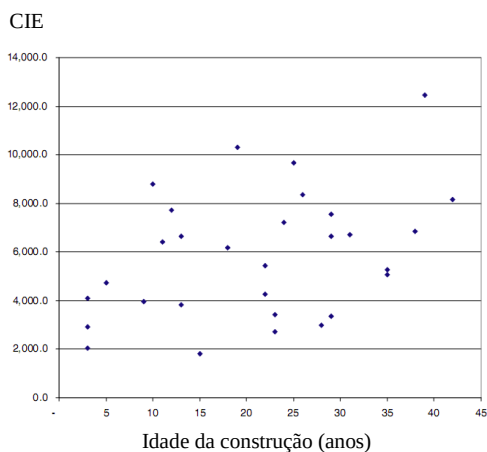


Figura 2.1 - CIE (MJ/m²/ano) em função da idade da edificação (ano).

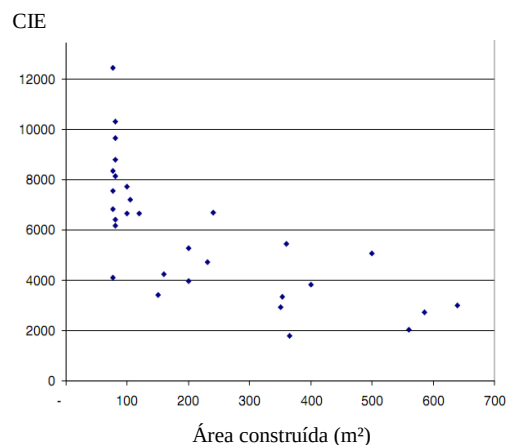


Figura 2.2 - CIE (MJ/m²/ano) em função da área construída (m²).

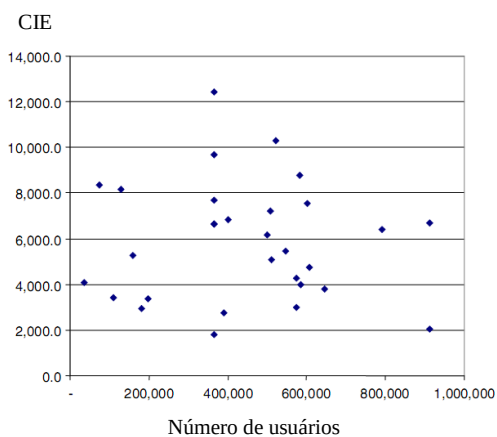


Figura 2.3 - CIE (MJ/m²/ano) em função do número de usuários.

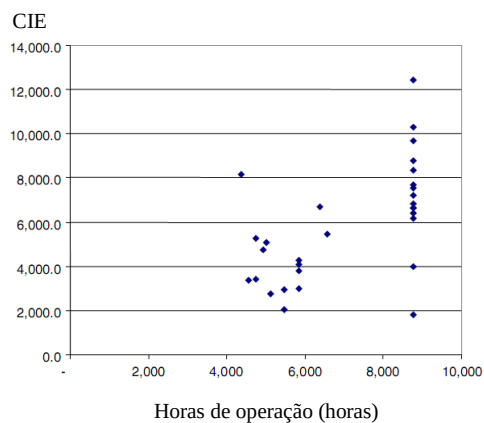


Figura 2.4 - CIE (MJ/m²/ano) em função do tempo de operação (horas).

Os valores de CIE (MJ/m²/ano) mínimo, máximo, médio e o seu desvio padrão foram, respectivamente, 1802, 12442, 5852,6 e 2591,2.

A UK Energy Benchmarks apud Chung; Hui e Lam (2004) utilizou este método, aplicando-o em 207 supermercados, e obteve um CIE médio de 3960 MJ/m²/ano. A Energy Star apud Chung, Hui e Lam (2004) adotou um método desenvolvido por Sharp (1996) apud Chung; Hui e Lam (2004), semelhante ao apresentado anteriormente, e obteve o resultado de 3526 MJ/m²/ano, aplicados a 88 supermercados. Chung; Hui e Lam (2004) associam a diferença entre os seus valores e os obtidos por Sharp (1996) às diferentes condições de operação dos supermercados.

2.1.2 Simulação do consumo energético com o uso do software Clim Top

Marchio e Ophelin (2006) afirmam que o consumo energético de grandes supermercados localizados na França e nos Estados Unidos, representa 4% da energia elétrica utilizada nestes países. Sendo 50 a 70% destinada a equipamentos de refrigeração e condicionamento de ar, o que equivale, aproximadamente, a 400 kWh/m²/ano. Em função destes aspectos, a A.M.E.C. (Associação Francesa de Gerenciamento de Energia em Supermercados) desenvolveu um aplicativo focado na simulação do consumo de energia pelo sistema de condicionamento de ar em supermercados. É necessário fornecer informações sobre o sistema ao software. Os resultados são fornecidos em planilha eletrônica e possibilitam a comparação dos valores de consumo da simulação com casos reais e com os de outras simulações. Entre os diversos resultados fornecidos por este aplicativo, pode-se obter a evolução da temperatura interna durante um dia, horas de uso do sistema por mês e balanço do consumo energético anual.

2.1.3 Simulação do desempenho energético da edificação com o uso do software Energy Plus

Este método baseia-se no desenvolvimento de um edifício, segundo as especificações da norma ASHRAE 90.1-2004, e posterior simulação deste no aplicativo Energy Plus.

Primeiramente, deve-se caracterizar a envoltória da edificação com a determinação do número de pavimentos, tamanho da fachada e das janelas, materiais das paredes, vidros e cobertura. Depois, acrescentam-se mais parâmetros que influenciam o desempenho energético, como a localização geográfica (características climáticas da região), orientação solar da fachada, eficiência do sistema de climatização, volumetria, horas de uso, densidade de carga interna de iluminação, equipamentos e número de usuários.

O *EnergyPlus* é um aplicativo que permite a implantação e simulação de diversos tipos de edifícios, dos simples até os mais complexos, baseando-se em equações de transferência de calor e balanços de energia. Informando as características e os parâmetros de operação da edificação, ele fornece dados de consumo energético, temperaturas, custos, entre outros. Alguns parâmetros considerados relevantes sobre o consumo de energia da edificação podem ser variados para se verificar a sensibilidade do o perfil de consumo da edificação em relação a estes parâmetros denominada análise de sensibilidade.

Dois trabalhos que adotaram o método descrito acima são o de Carlo (2008) e o de Silva e Neto (2010), ambos descritos a seguir. O método mostrou-se muito eficiente e pode ser utilizado para a análise do desempenho energético de qualquer tipo de estabelecimento não-residencial, devido às restrições da norma ASHRAE 90.1-2004.

Carlo (2008) utilizou este método para avaliar o desempenho energético dos envoltórios de edificações não-residenciais, como escritórios, hotéis e lojas. Em sua tese, a autora fez um levantamento de dados das características de 1103 edificações, localizadas em Belo Horizonte, Florianópolis, Recife, Salvador e São Paulo, e desenvolveu modelos representativos para cada uma, simulando-os no aplicativo Energy Plus. Os parâmetros das edificações pesquisados por Carlo (2008) e utilizados em seus modelos estão na Tabela 2.4.

A autora classifica as características em primárias e secundárias. As primárias são: densidade de carga interna, eficiência do sistema de climatização, orientação solar e volumetria, entendida como fator de forma (área da envoltória dividida pelo volume da mesma) e fator de altura (área da cobertura dividida pela área total). Estas, segundo Carlo (2008), impactam consideravelmente o consumo de energia elétrica. As secundárias são: percentual de área de janela na fachada, ângulos de sombreamento, fator solar dos vidros e transmitâncias térmicas da cobertura e das paredes externas. Ou seja, tratam-se de características que focam, principalmente, a envoltória.

Carlo (2008) afirma que, para os modelos baseados nos grandes escritórios, o condicionador de ar apresenta maior impacto no consumo de energia, resultando em um aumento de 18 kWh/m². Em seguida, tem-se o envoltório e a orientação solar da edificação, que geram um aumento de 14 kWh/m² e 6 kWh/m², respectivamente. O impacto da densidade de carga interna depende da densidade instalada, por exemplo, a alteração de um sistema de iluminação mais eficiente de 18,9 W/m² para um menos eficiente de 28,9 W/m² aumentou o consumo em 42 kWh/m².

A autora também avaliou o impacto de Medidas de Conservação de Energia (MCE), obtidas por meio de alterações das características secundárias da edificação, a fim de reduzir o seu consumo.

Tabela 2.4 – Parâmetros considerados na construção dos modelos desenvolvidos por Carlo (2008).

Parâmetro	Característica/ unidade
Ano de construção da edificação	Número (ano)
Dimensões	Metros (m)
Forma da edificação	Retangular, em H, circular
Área da edificação	Metros quadrados (m ²)
Número de pavimentos	Número
Percentual de área de janela na fachada	Número (%)
Proteção solar	Dimensões das janelas Dimensões dos brises
Vidros	Cor Espessura (mm) Película refletiva
Materiais da parede	Camada externa Camadas intermediárias Camada interna Cor
Materiais da cobertura	Camada externa Camadas intermediárias Camada interna Cor
Ocupação média	Pessoas por m ²
Horas de funcionamento	Dias úteis (horas) Fim de semana (horas)
Densidade de carga média	Equipamentos e Iluminação
Total de horas de uso	Equipamentos e Iluminação
Sistemas de condicionamento de ar	Capacidade de Resfriamento e de Aquecimento

Obtidos os consumos de energia por meio das simulações, Carlo (2008) desenvolveu duas equações de regressão multivariada: Equação (4) e Equação (5). Estas representam o consumo de eletricidade em função de modificações da envoltória. As principais limitações destas correlações são:

a ausência da influência da transmitância térmica das paredes externas e do clima, os limites de fator de forma e a pré-determinação de alguns parâmetros.

Para $A_{pcob} < 500 \text{ m}^2$

Fator de forma: $\left(\frac{A_{env}}{V_{tot}}\right) < 0,70$

$$\begin{aligned}
 IC = & -175,30 \cdot \left(\frac{A_{pcob}}{A_{tot}}\right) - 212,79 \cdot \left(\frac{A_{env}}{V_{tot}}\right) + 21,86 \cdot PAF_T + 5,59 \cdot SHGC - 0,19 \cdot AVS \\
 & + 0,15 \cdot AHS + 275,19 \cdot \left(\frac{A_{pcob}}{A_{tot}}\right) \cdot \left(\frac{A_{env}}{V_{tot}}\right) + 213,35 \cdot \left(\frac{A_{pcob}}{A_{tot}}\right) \cdot \left(\frac{A_{env}}{V_{tot}}\right) \\
 & - 0,04 \cdot PAF_T \cdot SHGC \cdot AVS - 0,45 \cdot PAF_T \cdot AHS + 190,42
 \end{aligned} \quad (4)$$

Para $A_{pcob} > 500 \text{ m}^2$

Fator de forma: $\left(\frac{A_{env}}{V_{tot}}\right) > 0,15$

$$\begin{aligned}
 IC = & -14,14 \cdot \left(\frac{A_{pcob}}{A_{tot}}\right) - 113,94 \cdot \left(\frac{A_{env}}{V_{tot}}\right) + 50,82 \cdot PJF + 4,86 \cdot SHGC - 0,32 \cdot AVS \\
 & + 0,26 \cdot AHS - 1,76 \cdot U_{cob} - 35,75 \cdot \left(\frac{V_{tot}}{A_{env}}\right) - 0,54 \cdot PJF \cdot AHS + 280,46
 \end{aligned} \quad (5)$$

Nas quais,

IC é o Indicador de Consumo (adimensional);

A_{env} é a área do envoltório (m^2);

A_{pcob} é a área de projeção da cobertura (m^2);

A_{tot} é área total de piso (m^2);

AHS é o ângulo horizontal de sombreamento (graus);

AVS é o ângulo vertical de sombreamento (graus);

$SHGC$ é o fator solar;

PJF é o percentual de área de janela na fachada (adimensional, para uso na equação);

U_{cob} é a transmitância térmica da cobertura ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$);

V_{tot} é o volume total da edificação (m^3).

As Equações (4) e (5) são válidas para análise de edificações que possuam sistema de climatização cuja eficiência é A, orientação norte-sul da maior fachada, $25 \text{ W}/\text{m}^2$ de densidade de carga interna e 11 horas de uso comercial.

Os coeficientes de determinação entre os dados simulados e equacionados são 0,9978 para Equação (4) e 0,9989 para as Equação (5).

A Figura 2.5 apresenta escalas que podem ser utilizadas como benchmarking para cinco atividades comerciais: grandes (GE) e pequenos escritórios (PE), grandes (GL) e pequenas lojas (PL) e hotéis (HO). Cada atividade apresenta quatro modelos: dois referenciais, sendo um eficiente e outro ineficiente; e dois casos extremos de eficiência e ineficiência. É importante lembrar que as edificações estão submetidas a condições específicas (como densidade de carga interna, clima, entre outros) e para que estes valores possam ser comparados com o da edificação a ser avaliada, o Indicador de Consumo desta deve ser calculado por meio da mesma equação (Eq. 4 ou Eq. 5).

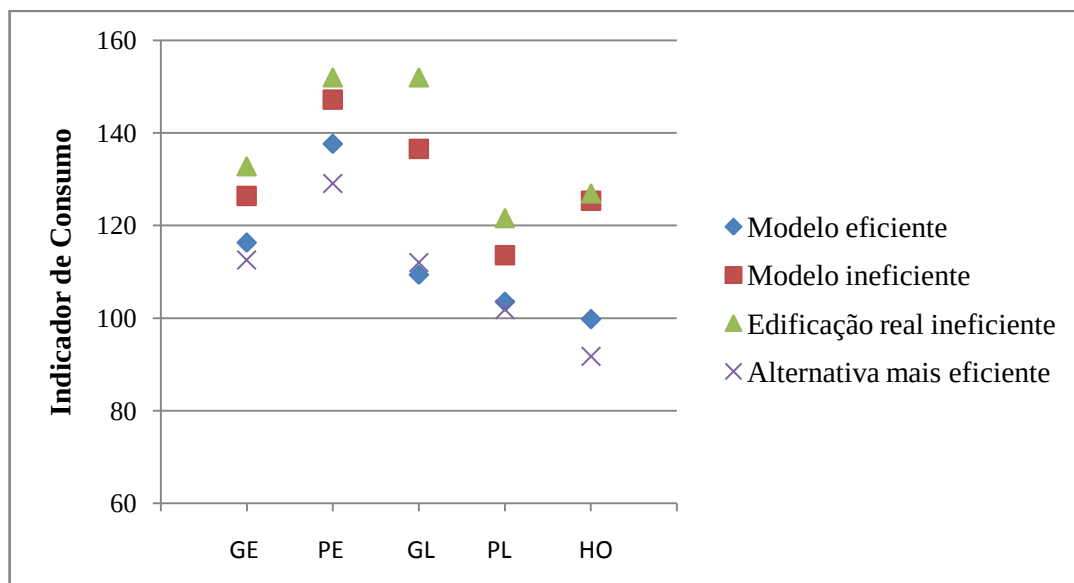


Figura 2.5 – Benchmarking para cinco atividades comerciais (CARLO, 2008).

A fim de realizar a avaliação da eficiência energética das edificações, Carlo (2008) apresenta, além do Indicador de Consumo, indicadores de custos, como “Pay-Back”, Taxa Interna de Retorno, Custo de Vida e Custo da Energia Conservada. Estes indicadores representam o desembolso necessário para a implantação de medidas que economizem de energia. Segundo ela, entre os indicadores de custos, o Custo da Energia Conservada é o mais apropriado para uma avaliação, pois possibilita uma estimativa rápida e fornece informações mais completas por ser analisado junto com a economia de eletricidade que a MCE proporciona. Este indicador pode ser obtido por meio da Equação (6).

$$CEC = \left(\frac{TCC}{\Delta E} \right) \cdot \left\{ \frac{d}{[1 - (1 + d)^{-n}]} \right\} \quad (6)$$

Onde,

CEC é o custo da energia conservada (R\$/kWh);

TCC é o custo da medida de conservação da energia (R\$);

ΔE é a energia economizada pela implementação da medida de conservação da energia, em relação a um caso base (kWh);

d é a taxa de desconto em base anual (adimensional);

n é a vida útil da medida da conservação da energia (anos).

Por meio da Equação (6), Carlo (2008) afirma que a alteração do percentual de área de janela é a medida mais vantajosa, seguida das proteções solares. A transmitância térmica da cobertura é mais vantajosa em edificações verticais do que em grandes áreas cobertas, devido ao custo do isolamento. O fator solar dos vidros e a transmitância térmica das paredes externas tendem a ser as medidas mais custosas.

Segundo Carlo (2008), todos os indicadores apresentados em sua tese podem ser utilizados para avaliações comparativas dentro o mesmo modelo de edifício, e podem ser adequados para a avaliação da eficiência de acordo com a análise a ser efetuada. A autora afirma também que, apesar das edificações selecionadas serem de uso comercial, elas foram selecionadas em amostras contendo edificações institucionais, sendo assim válidas para ambos os casos.

Outro trabalho que adotou a metodologia de desenvolvimento de um edifício, segundo as especificações da norma ASHRAE 90.1-2004, e posterior simulação deste no aplicativo Energy Plus, foi apresentado por Silva e Neto (2010). Os autores utilizaram este método para determinar índices energéticos para estabelecimentos comerciais localizados em quatro cidades brasileiras: Belém, Brasília, Rio de Janeiro e São Paulo.

O modelo da edificação desenvolvida por Silva e Neto (2010) está ilustrado na Figura 2.6. Suas principais características são:

- 41,5% de área de janela em cada parede;
- Densidade de ocupação de 11,6 pessoas/m²;
- Densidade de iluminação de 16 W/m²;
- Densidade de potência de equipamentos internos de 10,7 W/m²;
- Densidades de potência dos *lifts* de 19,9 W/m²;
- COP do chiller de 6,1;
- Temperaturas de *setpoint* de 24°C para condições de resfriamento e 20°C para aquecimento;
- 8760 horas de operação por ano.

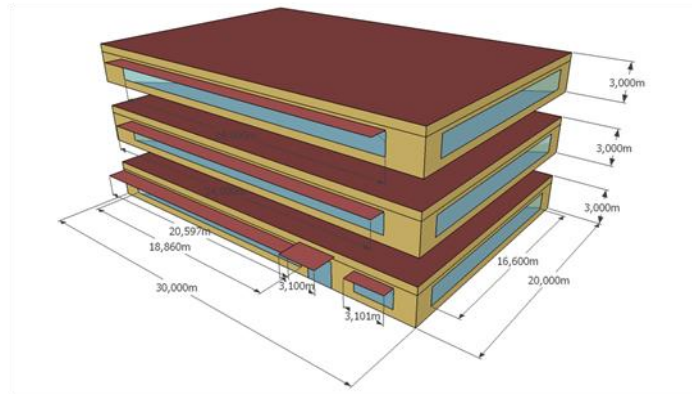


Figura 2.6 – Modelo tridimensional da edificação comercial desenvolvida por Silva e Neto (2010).

A Figura 2.7 apresenta a matriz energética desta edificação. Pode-se verificar que o sistema de iluminação é o que mais consome energia, seguido pelo sistema de refrigeração, *lifts* e equipamentos elétricos.

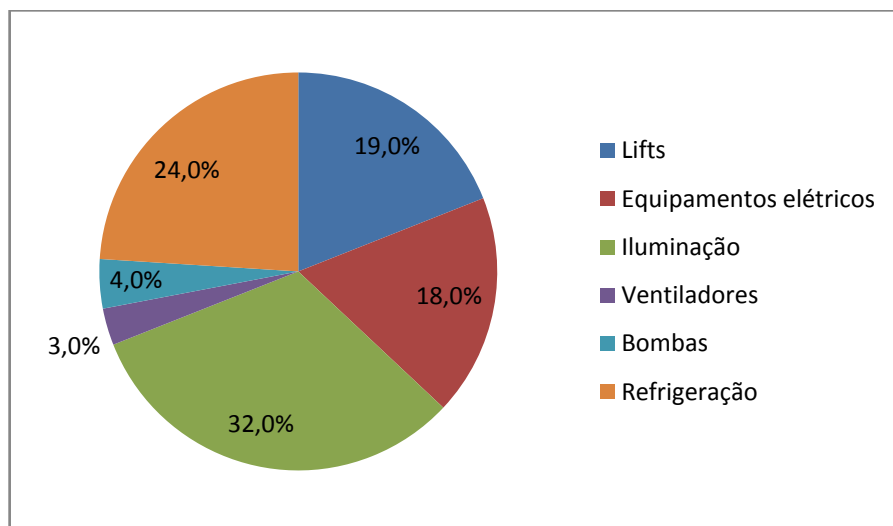


Figura 2.7 – Matriz de consumo de energia do edifício comercial desenvolvido por Silva e Neto (2010).

Os resultados das simulações permitiram que Silva e Neto (2010) apresentassem três indicadores energéticos: o Índice de Consumo Energético por Área (ICEPA), o Índice Energético Normalizado (IEN) e o Índice de Desempenho Normalizado (IDN). O ICEPA representa o consumo energético da edificação por unidade de área construída. O IDN é um índice que leva em consideração as condições climáticas. Trata-se do ICEPA normalizado pela temperatura de bulbo seco da região. O IDN, proposto por Canbay, Hepbasli e Gokcen (2004) apud Silva e Neto (2010), é obtido por meio da divisão do ICEPA por um fator que leva em consideração os arredores da edificação e é corrigido por uma correlação que inclui o “grau-dia” da cidade.

A Tabela 2.5 apresenta os índices energéticos para a edificação comercial analisada por Silva e Neto (2010).

Tabela 2.5 – Índices energéticos obtidos por Silva e Neto (2010).

	ICEPA (kWh/ano/m ²)	IEN (kWh/ano/m ² /°C)	IDN (kWh/ano/m ² /°C)
São Paulo	161,7	8,3	206,8
Brasília	167,2	7,9	265,3
Belém	192,8	7,5	199,3
Rio de Janeiro	178,2	7,4	172,7

Nota: Os valores apresentados na Tabela 2.5 foram retirados de gráficos presentes no trabalho de Silva e Neto (2010), por isso tratam-se de aproximações.

Entre os três índices apresentados, o IEN apresenta menor variação entre as cidades. Por isso, Silva e Neto (2010) consideram este indicador o mais adequado para o estabelecimento apresentado.

Silva e Neto (2010) também realizaram uma análise de sensibilidade alterando em 20% os seguintes parâmetros: o coeficiente de desempenho (COP) do Chiller e as densidades de potência dos equipamentos elétricos, de iluminação e de ocupação. Os resultados estão na Tabela 2.6. Pode-se concluir que, entre os quatro parâmetros, a densidade de potência dos equipamentos elétricos é o que mais afeta o consumo da edificação.

Tabela 2.6 – Análise de sensibilidade do consumo de energia da edificação comercial apresentada por Silva e Neto (2010).

Parâmetro	Variação média do IEN (%)
Densidade de potência dos equip. elétricos	8,1
Densidade de potência de iluminação	7,5
Densidade de ocupação	2,0
COP do Chiller	6,6

Apesar da metodologia adotada por Carlo (2008) e Silva e Neto (2010) ser muito semelhante da utilizada neste trabalho, seus resultados não serão utilizados, pois o desempenho energético de uma edificação só pode ser comparado com o de outra se ambas apresentarem características semelhantes, como função, geometria, localização climática, equipamentos, entre outros, e não há nestes trabalhos um modelo para supermercados.

3 Metodologia adotada

Neste trabalho adotou-se o método descrito na seção 2.1.3. O modelo utilizado para o início das simulações baseia-se em um arquivo fornecido pelo aplicativo Energy Plus versão 4.0, no qual estão definidos dimensões e equipamentos básicos de um supermercado típico. Algumas alterações foram feitas para enquadrá-lo como edificação de referência segundo os critérios definidos no apêndice G da Norma ASHRAE 90.1-2004, a saber:

- Zona climática;
- Características do clima (temperaturas, umidade, velocidade do vento);
- Material das camadas das paredes, piso, teto e vidro;
- Tamanho da área envidraçada (40% da área da parede);
- Carga interna (iluminação, equipamentos e usuários);
- Sistema de condicionamento de ar (potência e COP);
- Sistema de abastecimento de água.

Posteriormente, realizou-se uma análise de sensibilidade do consumo de energia da edificação, com a variação de alguns destes parâmetros para uma mesma envoltória em uma determinada região (São Paulo). O supermercado desenvolvido foi simulado para cinco cidades brasileiras: Belém, Brasília, Porto Alegre, Rio de Janeiro e São Paulo, com a finalidade de avaliar a influência climática no desempenho energético da edificação. Os resultados obtidos com as simulações permitiram a determinação de índices energéticos de referência para este estabelecimento localizado no Brasil.

4 Características da Edificação

4.1 Localização geográfica

Segundo a norma ASHRAE 90.1-2004, o Brasil está dividido em duas zonas climáticas, denominadas 1 e 2. A determinação da zona é fundamental para a caracterização da envoltória segundo esta norma. A Tabela 4.1 contém as regiões para as quais as simulações serão feitas e posicionamento geofísico.

Tabela 4.1 – Características das cidades brasileiras analisadas.

Estados brasileiros	Latitude	Longitude	Zona climática
Belém	1,43° Sul	48,48° Oeste	1
Brasília	15,77° Sul	47,93° Oeste	2
Porto Alegre	30,08° Sul	51,18° Oeste	2
Rio de Janeiro	22,90° Sul	43,17° Oeste	1
São Paulo	23,65° Sul	46,62° Oeste	2

4.2 Envoltória

A envoltória é composta por seis zonas térmicas: escritório, estoque, *delicatessen* (deli), setor de vendas, produção (manipulação de produtos) e padaria, e possui uma área construída de 4180,79 m². Há apenas uma janela localizada na fachada principal do setor de vendas. A Figura 4.1 apresenta um esquema do supermercado.

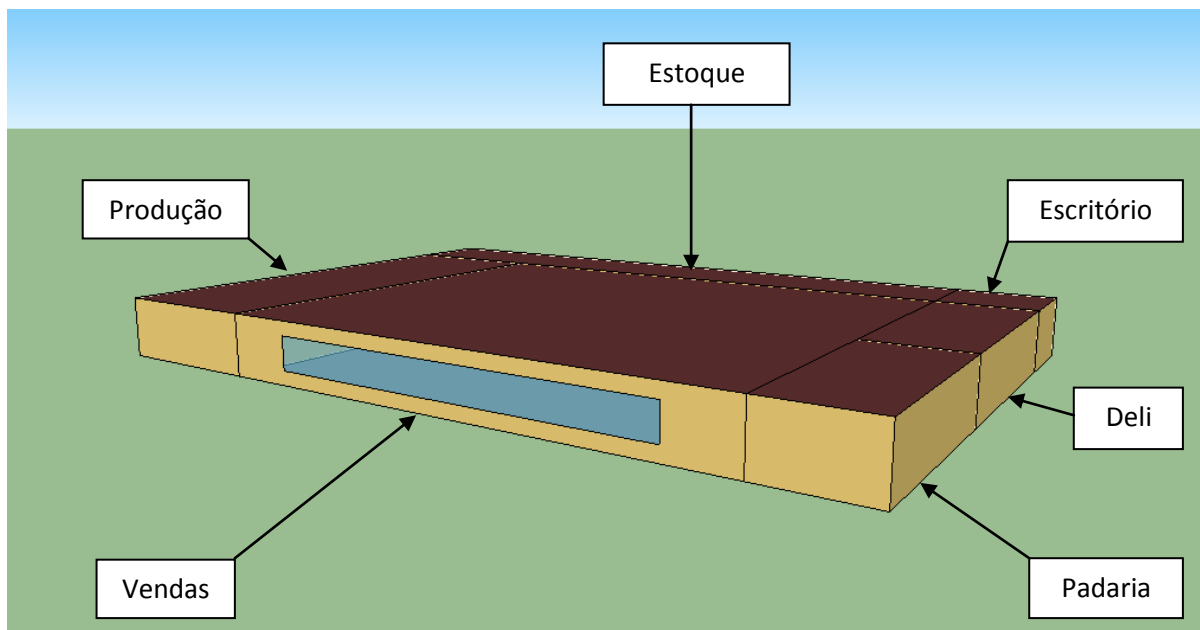


Figura 4.1 – Modelo tridimensional do supermercado.

A norma ASHRAE 90.1-2004 estabelece materiais adequados para cada parte do envoltório (parede, piso, teto, portas, janelas e outros), além de sua respectiva condutância térmica (U) e, no caso de vidros, o coeficiente de ganho de calor solar (SHGC). O fator U representa a transmissão de calor por unidade de tempo através de uma unidade de área de um material, induzida pela diferença de temperatura entre os lados deste; é expresso, segundo o Sistema Internacional de Unidades em $W/m^2 \cdot K$. O SHGC é a razão entre o ganho de calor solar que entra no espaço através de uma

superfície e a radiação solar incidente; inclui a radiação transmitida, absorvida e emitida pela superfície.

Os valores de U e SHGC, utilizados neste trabalho, podem ser verificados nas Tabelas 4.2 e 4.3 (extraídas da Tabela 5.5.1 da norma ASHRAE 90.1-2004).

Tabela 4.2 – Materiais opacos (ASHRAE, 2004).

Componente	Material/Característica	$U_{\text{máx}}$ (W/m²K)	$R_{\text{mín}}$	Reflectividade
Paredes	Estrutura metálica	0,705	2,3	–
Piso	Estrutura metálica	1,986	NR	–
Teto	Isolado por cima	0,36	2,6-ci	0,30

Tabela 4.3 – Características das janelas (ASHRAE, 2004).

Localização	Área (%)	$U_{\text{máx}}$ (W/m²K)	SHGC_{máx}
Todas as paredes, exceto a norte	40,1-50%	6,93	0,19
Parede norte	40,1-50%	7,21	0,33

As características dos principais materiais utilizados na construção do envoltório estão listadas no Apêndice A.

4.3 Cargas Internas

Cargas internas estão relacionadas com as fontes de calor que são os componentes localizados dentro da edificação que contribuem para o aumento da temperatura interna do ambiente, a saber: iluminação, usuários e equipamentos.

A potência de iluminação para cada zona foi determinada pelo “Método espaço por espaço” da norma ASHRAE 90.1-2004 que define uma densidade de potência de iluminação para cada tipo de ambiente, de acordo com sua funcionalidade.

O número de pessoas em cada zona seguiu o do modelo de supermercado fornecido pelo aplicativo Energy Plus, por ser semelhante ao número encontrado em muitos supermercados brasileiros.

Todas as zonas térmicas possuem equipamentos elétricos. Há dois equipamentos cuja fonte de energia utilizada é a queima de gás metano: um na “deli” e outro na padaria.

4.4 Sistema de climatização

Em função do tipo de edificação e de ocupação, a norma ASHRAE 90.1-2004 sugere um tipo de sistema de condicionamento de ar específico. No caso analisado, a norma sugere o sistema constituído de um sistema de climatização e uma bomba de calor do tipo rooftop. Este sistema é caracterizado por operar com volume de ar constante, aquecimento a gás e resfriamento elétrico, do tipo expansão direta, no qual o fluido refrigerante contido em uma serpentina, ao se evaporar resfria diretamente o ar do ambiente climatizado.

Além disso, a norma ASHRAE 90.1-2004 sugere que não sejam utilizados economizadores. As temperaturas de projeto em que o ar é direcionado para uma zona durante seu resfriamento e aquecimento são, respectivamente, 14°C e 40°C. A umidade absoluta do ar foi definida em torno de 0,008 (kg de água/kg de ar). Para os demais parâmetros do sistema foram adotados valores típicos de projeto.

O sistema permanece ligado durante todo o período de operação do supermercado, ou seja, das 6 às 22 horas.

Os coeficientes de desempenho (COP) adotados foram obtidos da norma ASHRAE 90.1-2004, que estabelece um valor mínimo de COP, de acordo com a potência instalada na zona e o tipo de sistema utilizado.

Em cada sistema, o ar é coletado da atmosfera, aquecido ou resfriado, ventilado para a zona e enviado, novamente, para a atmosfera. Uma das vantagens deste sistema é que o ar do ambiente é constantemente renovado.

A configuração deste sistema e seus componentes, para uma zona térmica genérica, estão representados na Figura 4.2.

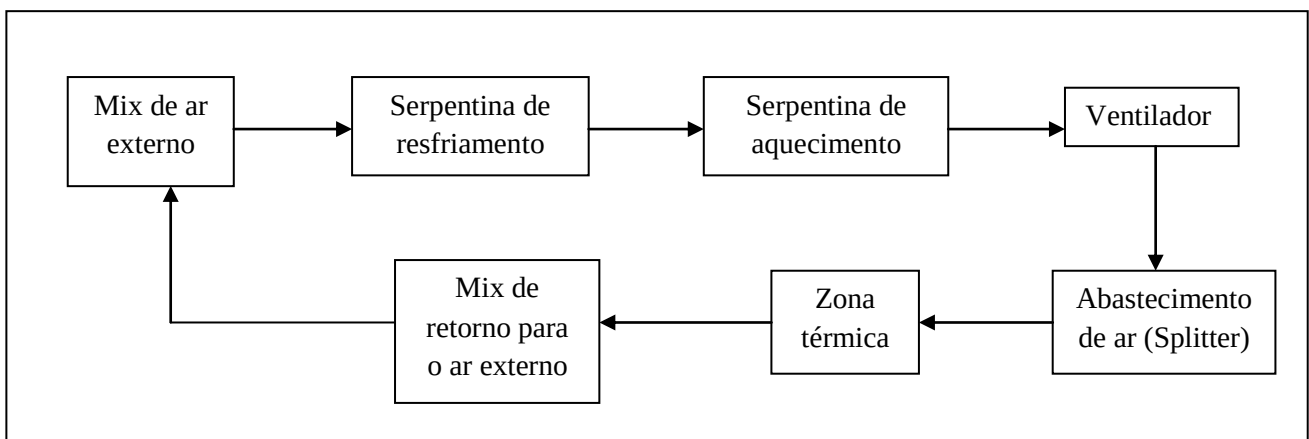


Figura 4.2 – Diagrama esquemático do sistema de condicionamento de ar para modelagem.

As principais características dos ambientes estão listadas na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Características das zonas térmicas do supermercado de referência.

	Escritório	Estoque	Deli	Vendas	Produção	Padaria
Área (m ²)	88,84	621,89	224,72	2324,94	711,36	209,04
Densidade de iluminação (W/m ²)	12	9	18	18	18	13
Número de pessoas	5	23	20	200	62	18
Potência dos equip. elétricos (W)	716,95	5018,65	12089,86	12508,17	3827,14	5623,20
Potência dos equip. a gás (W)	–	–	6044,93	–	–	11246,40
COP do sist. de climatização	3,52	3,52	3,02	3,52	3,52	3,02
Eficiência do combustível	0,80	0,78	0,78	0,78	0,78	0,80
Potência do sist. de refrigeração ⁴ (W/m)	–	–	1775,22	5316,18	1234,60	440,62

4.5 Sistema de Refrigeração

O sistema de refrigeração é composto por balcões e câmaras localizados no setor de vendas, deli, produção e padaria. A potência de cada um destes balcões varia de acordo com a curva de operação fornecida pelo fabricante. A temperatura do ambiente é 22,88 °C e a umidade relativa 55 %. Este sistema apresenta coeficiente de desempenho igual 3,2.

As Tabelas 4.5 e 4.6 apresentam as características de cada balcão e câmara frigorífica.

Tabela 4.5 – Características dos balcões e câmaras frigoríficas localizados no setor de vendas.

Localização	Setor de vendas						
Capacidade de Refrigeração (W/m)	1442,25	1442,25	538,44	528,83	461,52	461,52	615,36
Comprimento (m)	33,58	49,25	81,69	39,01	10,44	96,66	38,10
Temperatura de operação (°C)	2,2	2,2	-15,0	-12,0	2,2	2,2	-23,3
Potência do ventilador (W/m)	87,6	41,0	65,6	32,8	97,0	63,0	105,0
Potência de iluminação (W/m)	38,7	60,0	108,3	0,0	26,25	26,25	26,25
Potência da resistência para condensação (W/m)	65,6	0,0	233,0	78,7	0,0	0,0	0,0

⁴ Este sistema engloba a capacidade de refrigeração, ventiladores, iluminação e aquecimento dos balcões e câmaras frigoríficas.

Tabela 4.6 – Características dos balcões e câmaras frigoríficas localizados na deli, padaria e produção.

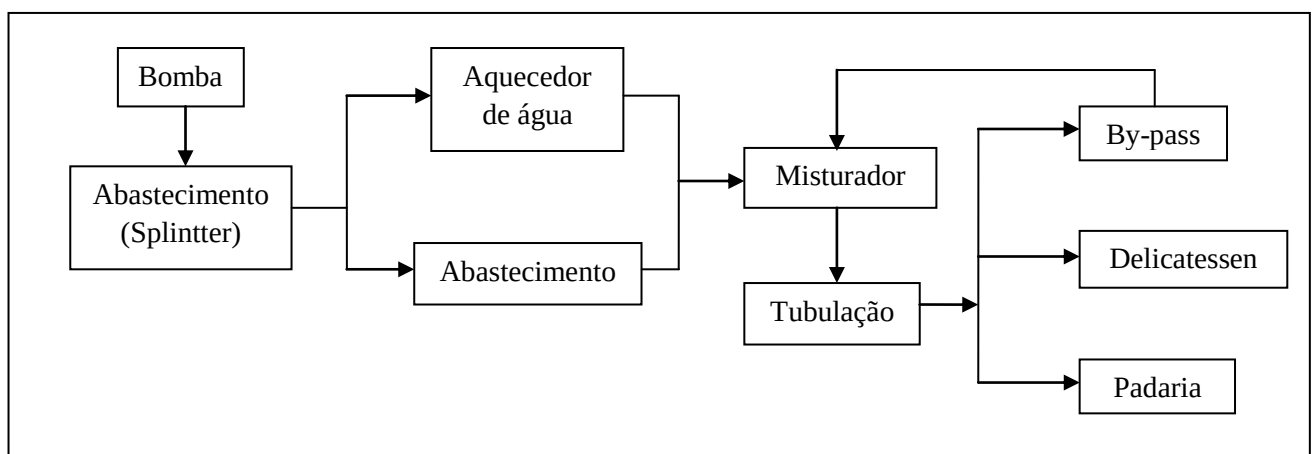
Localização	Deli	Deli	Produção	Padaria
Capacidade de Refrigeração (W/m)	1442,25	461,52	1442,25	461,52
Comprimento (m)	3,0	4,8	30,0	2,4
Temperatura de operação (°C)	2,2	2,2	2,2	2,2
Potência do ventilador (W/m)	87,6	97,1	41,0	63,0
Potência de iluminação (W/m)	38,7	26,25	60,0	26,25
Potência da resistência para condensação (W/m)	65,6	0,0	0,0	0,0

4.6 Sistema de abastecimento e aquecimento de água

Na edificação analisada, a água é aquecida por um equipamento a gás, cujo combustível é o metano (gás natural). A máxima potência fornecida pelo sistema é de 845 kW. A água é aquecida até uma temperatura máxima de 82°C e armazenada em um tanque de 0,4 m³ sendo fornecida a 60°C para os sistemas de degelo e aquecimento do ar.

O sistema de distribuição possui apenas uma bomba, a qual é responsável pelo abastecimento de todo o estabelecimento, principalmente, a padaria e a “deli”.

Para a simulação considerou-se que a tubulação é adiabática, ou seja, não troca calor com o meio externo. Como no caso do sistema de climatização, para os demais parâmetros de operação foram adotados valores típicos de projeto.

**Figura 4.3 – Diagrama esquemático do sistema de distribuição de água.**

5 Resultados

Os resultados aqui apresentados referem-se à simulação energética do modelo de uma edificação com ocupação típica de supermercado, apresentado na seção 4 deste trabalho, localizado em cinco cidades brasileiras. O que difere uma simulação da outra são, apenas, os dados climáticos e localização geográfica (altitude, longitude e latitude) de cada região. Os resultados permitirão a determinação de índices energéticos para supermercados localizados no Brasil. Também será apresentada uma análise de sensibilidade para a edificação localizada em São Paulo.

Com o objetivo de fazer com que o modelo desenvolvido opere de maneira semelhante aos supermercados localizados no Brasil, os sistemas de aquecimento de ar e de água foram mantidos desligados.

5.1 Simulação do supermercado localizado em São Paulo para o “dia de projeto”

Primeiramente, opinou-se simular a envoltória no chamado “dia de projeto de verão” (“design day - cooling”), 21 de janeiro, com o objetivo de avaliar o funcionamento dos sistemas do supermercado (climatização, refrigeração, iluminação, equipamentos, entre outros), temperatura interna e possíveis erros de programação.

Alguns dos resultados da simulação da edificação localizada em São Paulo, no dia de projeto de verão, estão apresentados nas Figuras 5.1, 5.2 e 5.3, que ilustram a temperatura de bulbo seco externa, o consumo de eletricidade pelo sistema de climatização e consumo total, respectivamente, em função do tempo (em horas).

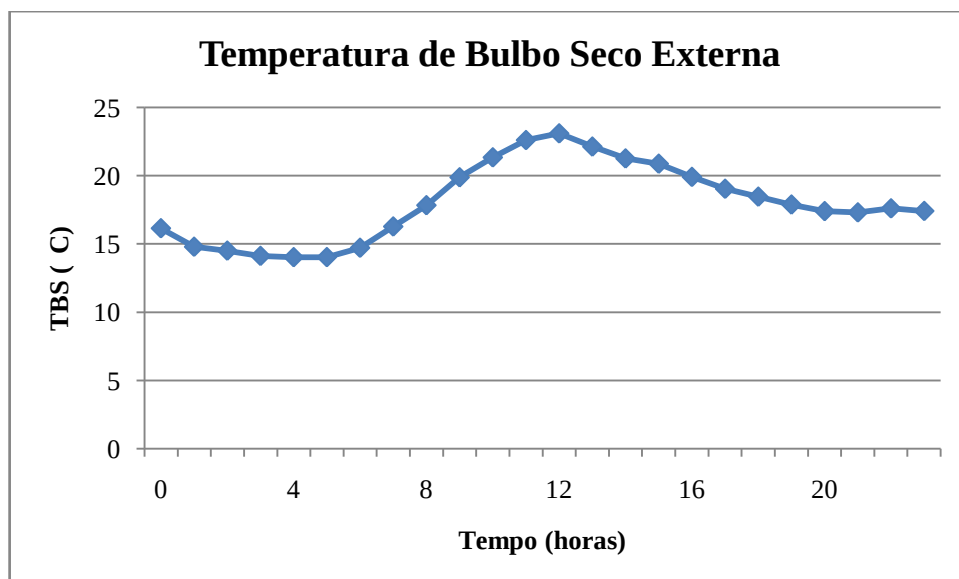


Figura 5.1 – Temperatura de bulbo seco externa durante o dia de projeto.

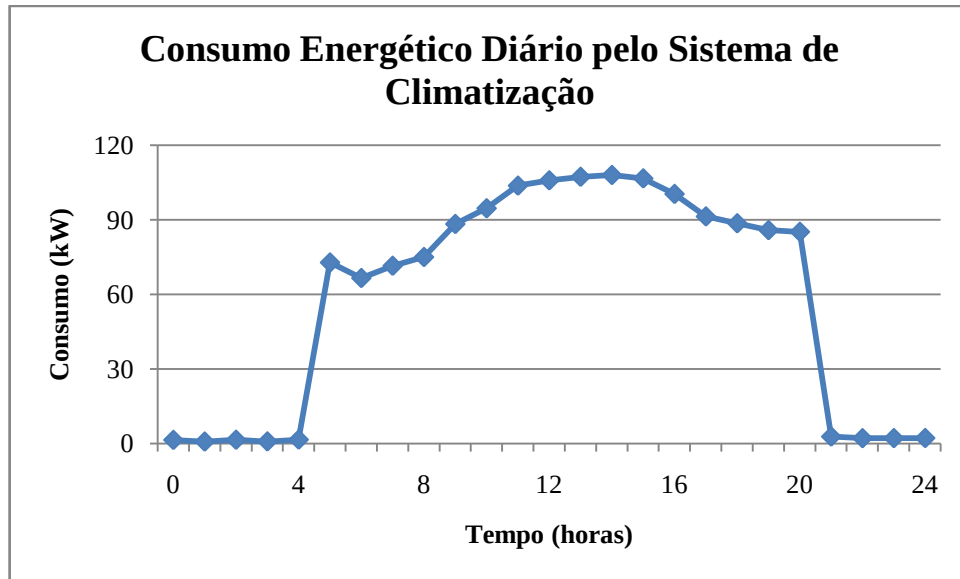


Figura 5.2 – Consumo de energia elétrica pelo sistema de climatização durante o dia de projeto.

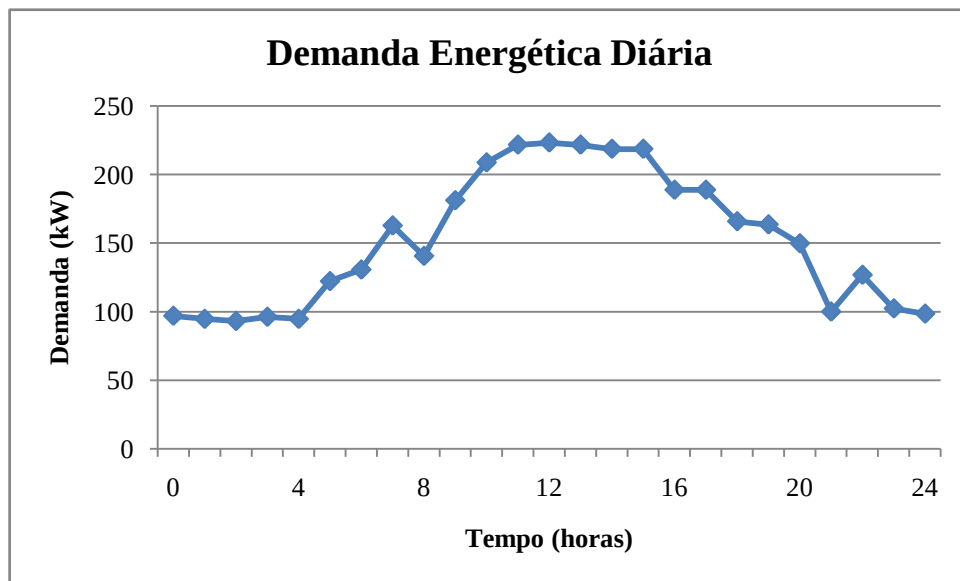


Figura 5.3 – Demanda total de energia elétrica durante o dia de projeto.

As Figuras 5.1, 5.2 e 5.3 deixam evidente que o consumo energético do supermercado é maior durante o dia, aspecto que já esperado de acordo com Panesi (2004).

5.2 Simulação anual do supermercado localizado em São Paulo

Os principais resultados da simulação anual do edifício, para a cidade de São Paulo, estão apresentados nas Tabelas 5.1 e 5.2. A Tabela 5.1 fornece o consumo energético do supermercado por unidade de área climatizada e a Tabela 5.2 mostra o consumo por sistema e equipamentos.

Tabela 5.1 - Média anual do consumo do supermercado por área (m²) climatizada.

	Consumo (kWh/ano/m ²)	%
Climatização	161,8	39,7
Refrigeração	99,7	24,4
Iluminação	64,6	15,8
Equipamentos a gás	36,2	8,9
Outros	45,7	11,2
Total	408,1	100,0

Nota: A área climatizada é igual à área construída, 4180,79 m², pois todas as zonas do supermercado são condicionadas.

Tabela 5.2 - Distribuição do consumo de energia do supermercado analisado.

	Elettricidade (MWh/ano)	Gás (MWh/ano)	Total (MWh/ano)
Climatização	676,6	0,0	676,6
Iluminação interior	252,6	0,0	252,6
Iluminação exterior	17,6	0,0	17,6
Equipamentos elétricos	188,4	0,0	188,4
Equipamentos a gás	0,0	151,5	151,5
Exaustores	2,5	0,0	2,5
Refrigeração	416,8	0,0	416,8
Sistema de água	0,1	0,0	0,1
Total	1554,6	151,5	1706,1

Segundo a Tabela 5.2, o estabelecimento consome, em média, 1706,1 MWh/ano, o que equivale a 408,1 kWh/ano/m². Este valor pode ser considerado como uma primeira estimativa de um índice energético de referência para supermercados semelhantes, localizados em São Paulo.

Para facilitar a visualização do consumo por sistema e equipamentos, opinou-se por utilizar uma matriz energética (vide Figura 5.4) apresentada na Figura 5.4, esta deixa evidente que o sistema de climatização é o principal responsável pelo consumo (39,7%). Em segundo lugar, está o sistema de refrigeração (24,4 %).

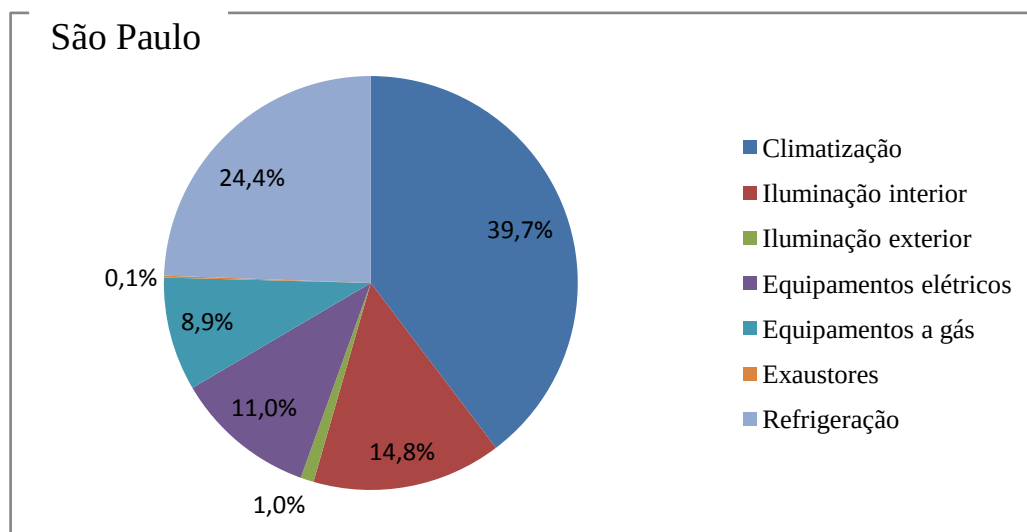


Figura 5.4 – Matriz de consumo de energia do supermercado localizado em São Paulo.

A Tabela 5.3 e a Figura 5.5 fornecem dados de consumo mensal de energia elétrica e de gás natural. Pode-se verificar que a eletricidade é a principal responsável pelo consumo total do supermercado, ou seja, 91,1% (Fig. 5.4).

Os sistemas que consomem energia elétrica são: climatização, refrigeração, exaustão de ar, iluminação, abastecimento de água e equipamentos elétricos.

Tabela 5.3 - Consumo mensal de energia do supermercado localizado em São Paulo.

	Eletricidade (MWh/mês)	Gás natural (MWh/mês)	Total (MWh/mês)	%
Janeiro	138,8	12,9	151,6	8,9
Fevereiro	126,6	11,6	138,3	8,1
Março	138,0	12,9	150,9	8,8
Abril	127,9	12,4	140,3	8,2
Maio	128,2	12,9	141,1	8,3
Junho	122,3	12,4	134,7	7,9
Julho	125,7	12,9	138,5	8,1
Agosto	124,9	12,9	137,8	8,1
Setembro	122,4	12,4	134,9	7,9
Outubro	134,1	12,9	147,0	8,6
Novembro	128,9	12,4	141,3	8,3
Dezembro	136,8	12,9	149,7	8,8
Total (kWh/ano)	1554,6	151,5	1706,1	100,0

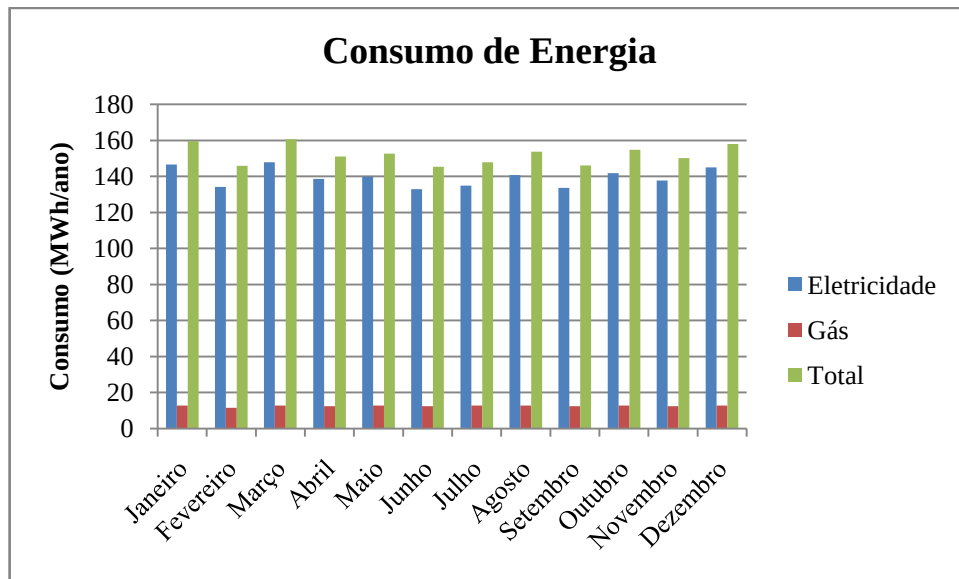


Figura 5.5 - Consumo mensal de energia elétrica e gás natural.

A Tabela 5.4 apresenta o consumo mensal de energia elétrica por sistema.

Tabela 5.4 – Consumo mensal de energia elétrica do supermercado localizado em São Paulo.

	Iluminação interna (MWh/mês)	Iluminação externa (MWh/mês)	Equip. elétricos (MWh/mês)	Climatização (MWh/mês)	Refrigeração (MWh/mês)	Exaustores (MWh/mês)	Total (MWh/mês)
Jan	20,8	1,3	15,7	63,6	37,0	0,2	138,7
Fev	19,7	1,3	14,6	57,2	33,8	0,2	126,6
Mar	22,0	1,5	16,2	61,2	36,9	0,2	138,0
Abr	20,4	1,5	15,3	56,2	34,3	0,2	127,9
Mai	21,6	1,6	16,1	54,2	34,5	0,2	128,2
Jun	21,2	1,6	15,7	50,7	32,9	0,2	122,3
Jul	21,1	1,7	15,8	53,0	33,8	0,2	125,7
Ago	22,0	1,6	16,2	51,2	33,7	0,2	124,9
Set	20,7	1,5	15,5	51,6	33,0	0,2	122,4
Out	21,6	1,4	16,1	58,9	35,9	0,2	134,1
Nov	20,5	1,3	15,4	57,0	34,5	0,2	128,9
Dez	21,1	1,3	15,8	61,8	36,6	0,2	136,8

O consumo de eletricidade pelo sistema de abastecimento de água não está presente na Tabela 5.4. Este é constante ao longo do ano e igual a 7,3 kWh/mês, o que equivale a 87,1 kWh/ano ou, aproximadamente, 0,1 MW/ano (como apresentado na Tabela 5.2).

A Figura 5.6 ilustra os dados fornecidos pela Tabela 5.4, dando ênfase aos sistemas de climatização e de refrigeração, por serem mais suscetíveis às variações climáticas.

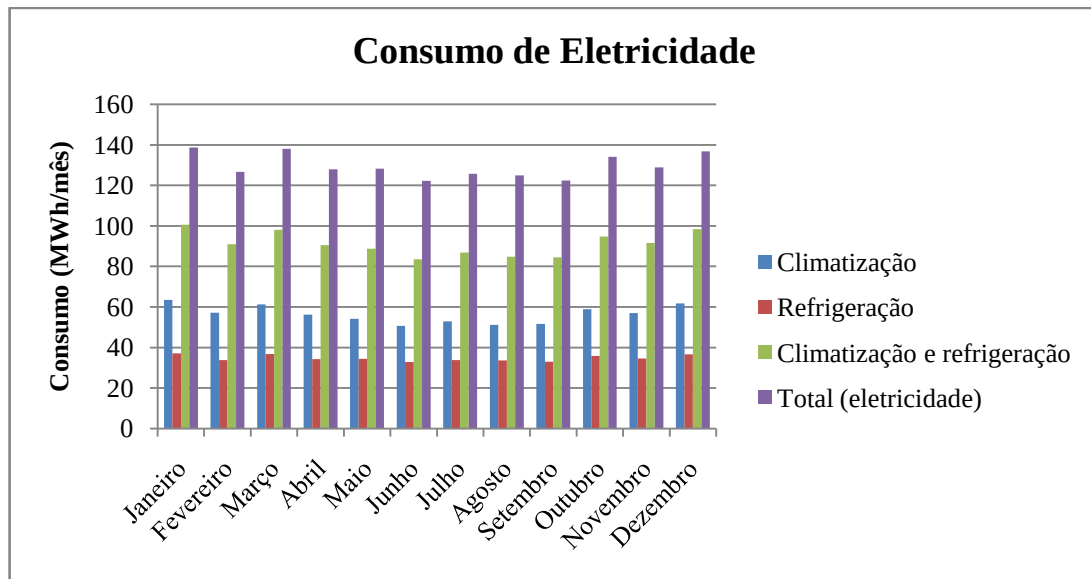


Figura 5.6 – Consumo mensal de energia elétrica do supermercado localizado em São Paulo.

5.3 Análise de sensibilidade do consumo de energia do supermercado localizado em São Paulo

A partir dos dados obtidos na simulação anual, e que podem ser verificados na Figura 5.4, fica evidente a importância do desempenho do sistema de refrigeração e climatização no consumo energético do supermercado. Logo, três dos parâmetros que serão alterados, para a análise de seu impacto no consumo, são: potência dos balcões e câmaras de refrigeração, o coeficiente de desempenho (COP) deste sistema e o coeficiente de desempenho (COP) do sistema de climatização. Também será analisada a influência do número de usuários em todas as zonas da edificação. Esses parâmetros serão alterados de 20 % com relação aos da edificação de referência, apresentada na seção 4 deste trabalho.

5.3.1 Potência dos balcões e câmaras do sistema de refrigeração

A alteração no consumo energético do estabelecimento devido à potência do sistema de refrigeração pode ser verificada nas Tabelas 5.5 e 5.6, e Figuras 5.7 e 5.8.

Segundo a Tabela 5.5, o aumento da potência dos balcões e câmaras frigoríficas aumenta o consumo de energia total do estabelecimento em 9,3%. Isto ocorre devido ao aumento da demanda energética deste sistema e do sistema de climatização, como pode ser observado na Tabela 5.6 e na Figura 5.7.

A redução da potência reduz o consumo total em 9,5%. Logo, há uma relação direta entre este parâmetro e o consumo energético da edificação.

Tabela 5.5 – Consumo do estabelecimento (kWh/ano/m²) de acordo com a potência dos balcões de refrigeração.

	Eletricidade (kWh/ano/m ²)	Gás natural (kWh/ano/m ²)	Total (kWh/ano/m ²)
Base	371,8	36,2	408,1
Maior Potência de Refrigeração	409,9	36,2	446,1
Menor Potência de Refrigeração	333,1	36,2	369,3

Nota: A área climatizada é igual à área construída, 4180,79 m², pois todas as zonas do supermercado são condicionadas.

Tabela 5.6 - Distribuição do consumo de energia do supermercado analisado.

	Base (MWh/ano)	Maior Potência de Refrigeração (MWh/ano)	Menor Potência de Refrigeração (MWh/ano)
Climatização	676,6	780,6	571,6
Iluminação interior	252,6	252,6	252,6
Iluminação exterior	17,6	17,6	17,6
Equipamentos elétricos	188,4	188,4	188,4
Equipamentos a gás	151,5	151,5	151,5
Exaustores	2,5	2,5	2,5
Refrigeração	416,8	472,0	359,8
Sistema de água	0,1	0,1	0,1
Total	1706,1	1865,2	1544,1

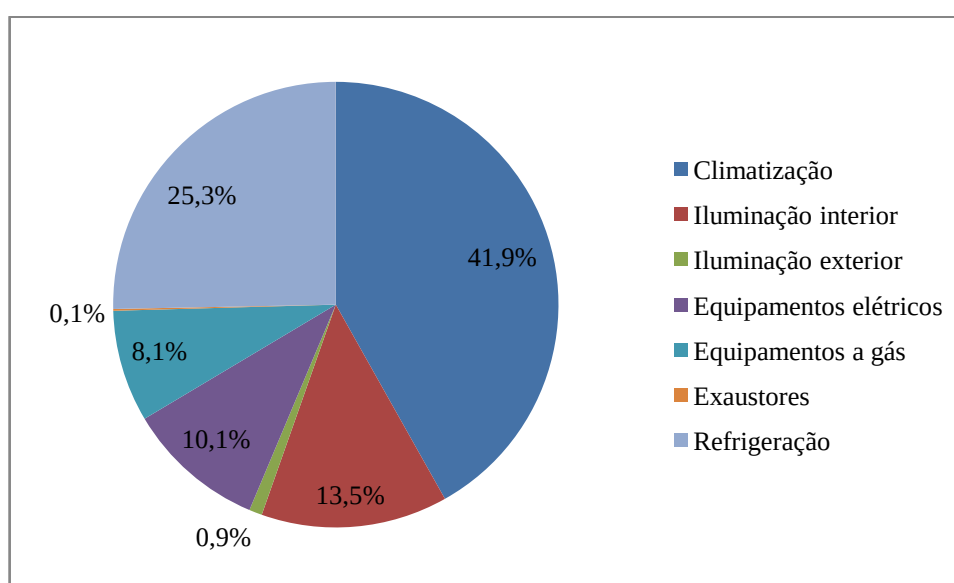


Figura 5.7 – Matriz de consumo de energia do supermercado com a potência dos balcões de refrigeração 20% maior.

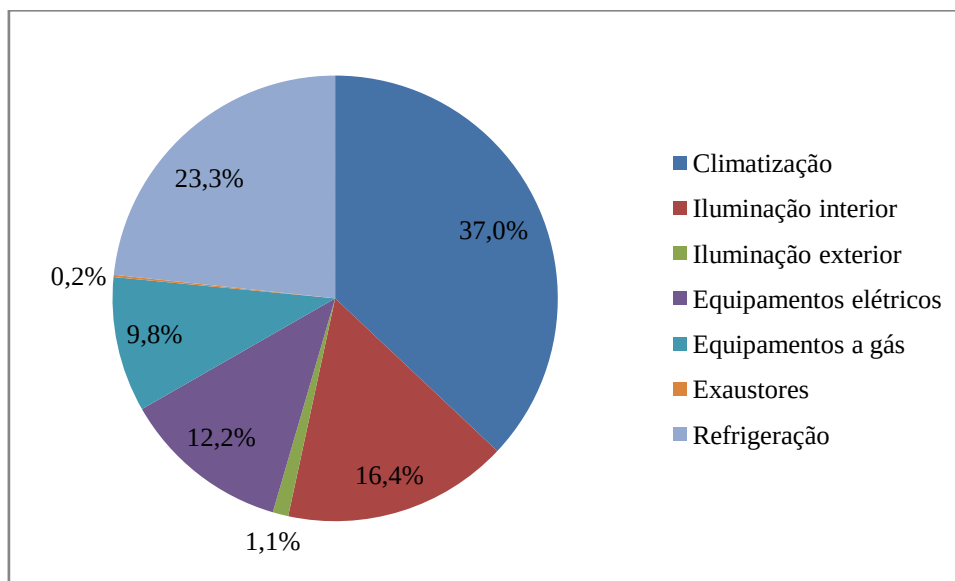


Figura 5.8 – Matriz de consumo de energia do supermercado com a potência dos balcões de refrigeração 20% menor.

5.3.2 Coeficiente de desempenho (COP) do sistema de refrigeração

O COP representa a razão entre o trabalho produzido pelo compressor e sua demanda energética. Logo, quanto maior o coeficiente de desempenho dos compressores, menor é a contribuição do sistema de refrigeração no consumo de energia elétrica, e quanto menor for o COP, maior será sua contribuição.

A alteração no consumo energético do estabelecimento devido a variação do COP do sistema de refrigeração pode ser verificada nas Tabelas 5.7 e 5.8, e Figuras 5.9 e 5.10.

Segundo a Tabela 5.7, o aumento do coeficiente de desempenho reduziu o consumo em 2,9%; e a redução deste parâmetro (COP) aumentou o consumo em 4,7%.

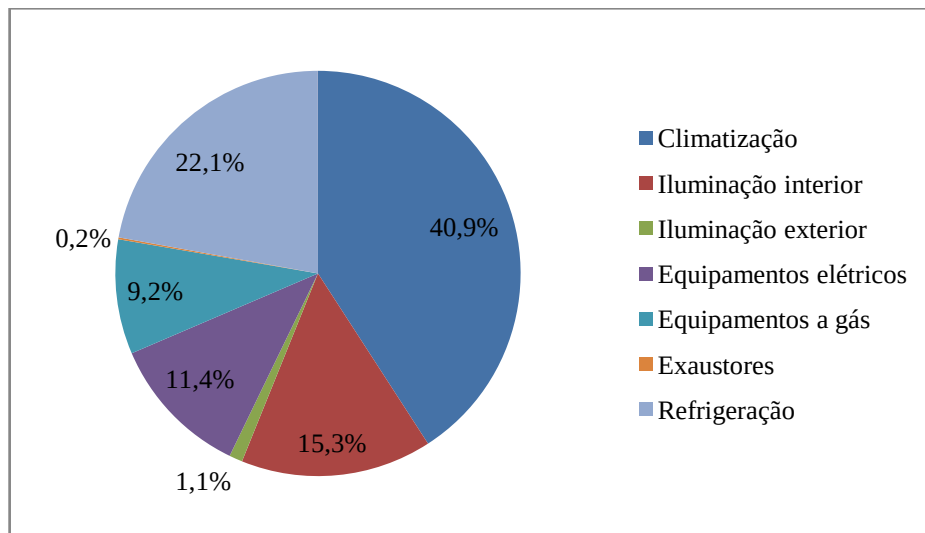
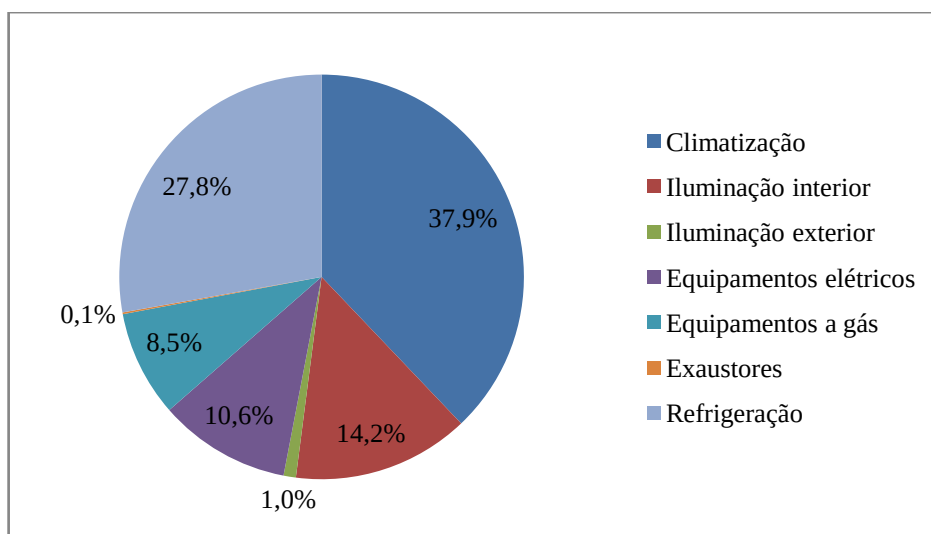
Tabela 5.7 – Consumo do estabelecimento (kWh/ano/m²) de acordo com o COP do sistema de refrigeração.

	Eletricidade (kWh/m ² ·ano)	Gás natural (kWh/m ² ·ano)	Total (kWh/m ² ·ano)
COP Base	371,8	36,2	408,1
Maior COP Refrigeração	359,8	36,2	396,1
Menor COP Refrigeração	390,9	36,2	427,2

Nota: A área climatizada é igual à área construída, 4180,79 m², pois todas as zonas do supermercado são condicionadas.

Tabela 5.8 - Distribuição do consumo de energia do supermercado analisado.

	COP Base (MWh/ano)	Maior COP Refrigeração (MWh/ano)	Menor COP Refrigeração (MWh/ano)
Climatização	676,6	676,6	676,6
Iluminação interior	252,6	252,6	252,6
Iluminação exterior	17,6	17,6	17,6
Equipamentos elétricos	188,4	188,4	188,4
Equipamentos a gás	151,5	151,5	151,5
Exaustores	2,5	2,5	2,5
Refrigeração	416,8	366,6	496,6
Sistema de água	0,1	0,1	0,1
Total	1706,1	1655,9	1785,8

**Figura 5.9 – Matriz de consumo de energia do supermercado com COP do sistema de refrigeração maior 20%.****Figura 5.10 – Matriz de consumo de energia do supermercado com COP do sistema de refrigeração menor 20%.**

5.3.3 Coeficiente de desempenho (COP) do sistema de climatização

A alteração no consumo energético do estabelecimento devido ao coeficiente de desempenho do sistema de resfriamento de ar pode ser verificada nas Tabelas 5.9 e 5.10, e Figuras 5.11 e 5.12. Quanto maior o COP deste sistema, menor é sua contribuição no consumo de energia anual.

Tabela 5.9 – Consumo do estabelecimento (kWh/ano/m²) de acordo com o COP do sistema de resfriamento de ar.

	Eletricidade (kWh/ano/m²)	Gás natural (kWh/ano/m²)	Total (kWh/ano/m²)
COP Base	371,8	36,2	408,1
Maior COP Climatização	369,2	36,2	405,5
Menor COP Climatização	375,4	36,2	411,7

Nota: A área climatizada é igual à área construída, 4180,79 m², pois todas as zonas do supermercado são condicionadas.

Tabela 5.10 - Distribuição do consumo de energia do supermercado analisado.

	COP Base (MWh/ano)	Maior COP Climatização (MWh/ano)	Menor COP Climatização (MWh/ano)
Climatização	676,6	665,7	691,6
Iluminação interior	252,6	252,6	252,6
Iluminação exterior	17,6	17,6	17,6
Equipamentos elétricos	188,4	188,4	188,4
Equipamentos a gás	151,5	151,5	151,5
Exaustores	2,5	2,5	2,5
Refrigeração	416,8	416,8	416,8
Sistema de água	0,1	0,1	0,1
Total	1706,1	1695,1	1721,0

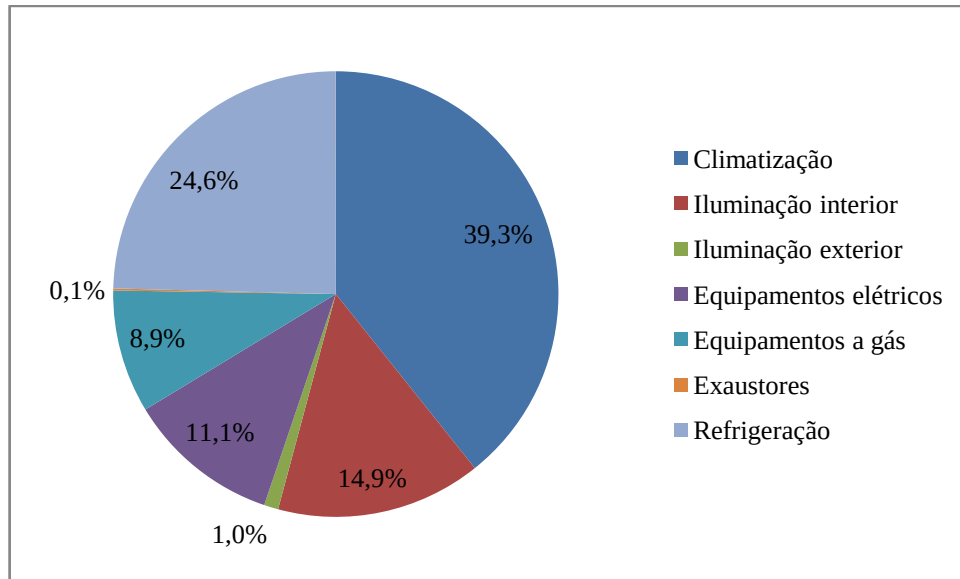


Figura 5.11 – Matriz de consumo de energia do supermercado com COP do sistema de climatização do ar maior 20%.

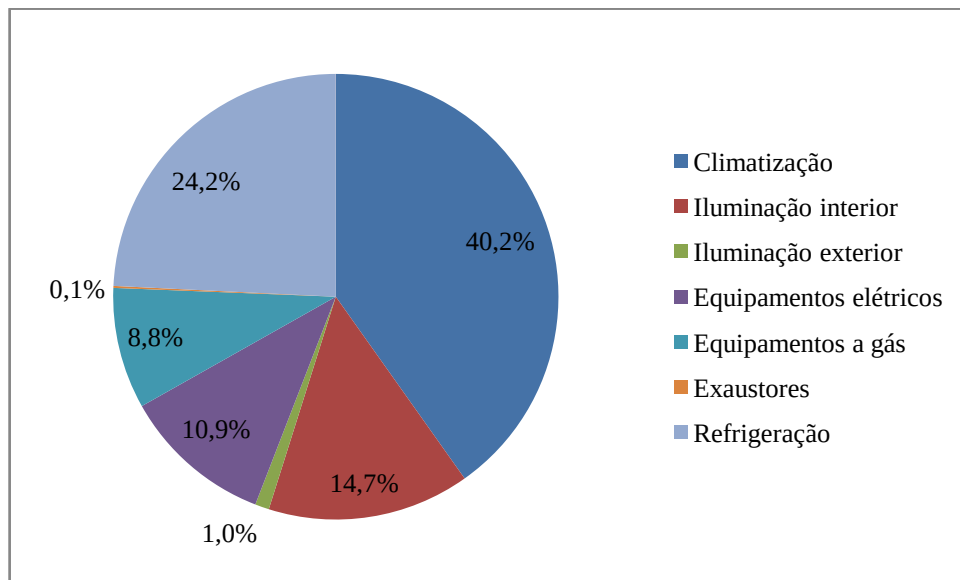


Figura 5.12 – Matriz de consumo de energia do supermercado com COP do sistema de climatização do ar menor 20%.

5.3.4 Número de usuários

A alteração no consumo energético do estabelecimento devido à variação do número de usuários pode ser verificada nas Tabelas 5.11 e 5.12, e Figuras 5.13 e 5.14.

Sabe-se que quanto maior o número de usuários, mais elevada é a carga térmica da edificação e, conseqüentemente, maior será a demanda energética pelo sistema de climatização. Este fato pode ser verificado na Tabela 5.11.

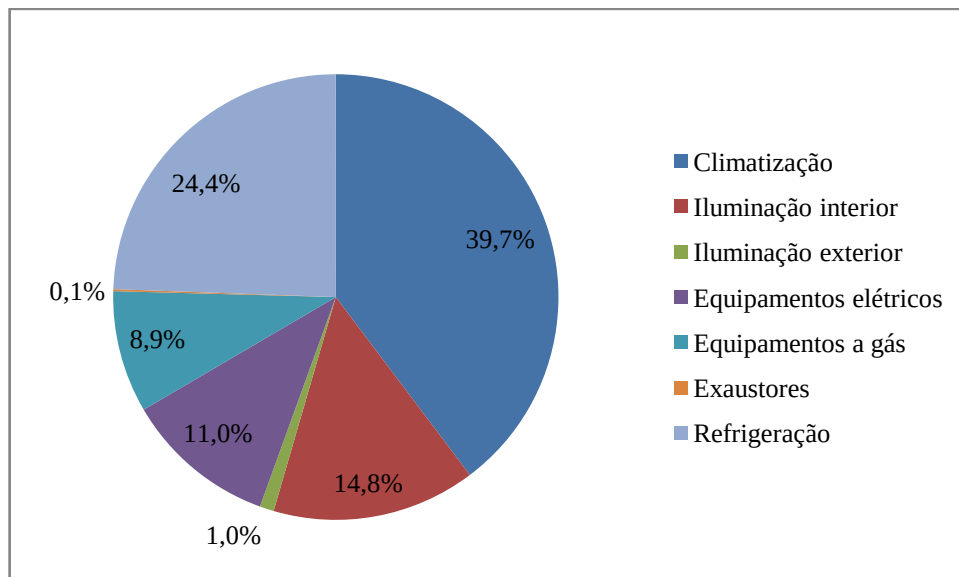
Tabela 5.11 - Consumo do estabelecimento (kWh/m²/ano) de acordo com o número de usuários.

	Eletricidade (kWh/ano/m ²)	Gás natural (kWh/ano/m ²)	Total (kWh/ano/m ²)
Base	371,8	36,2	408,1
Mais Pessoas	372,5	36,2	408,7
Menos Pessoas	371,2	36,2	407,4

Nota: A área climatizada é igual à área construída, 4180,79 m², pois todas as zonas do supermercado são condicionadas.

Tabela 5.12 - Distribuição do consumo de energia do supermercado analisado.

	Base (MWh/ano)	Mais Pessoas (MWh/ano)	Menos Pessoas (MWh/ano)
Climatização	676,6	678,8	674,4
Iluminação interior	252,6	252,6	252,6
Iluminação exterior	17,6	17,6	17,6
Equipamentos elétricos	188,4	188,4	188,4
Equipamentos a gás	151,5	151,5	151,5
Exaustores	2,5	2,5	2,5
Refrigeração	416,8	417,4	416,2
Sistema de água	0,1	0,1	0,1
Total	1706,1	1708,8	1703,3

**Figura 5.13 - Matriz de consumo de energia do supermercado com mais pessoas.**

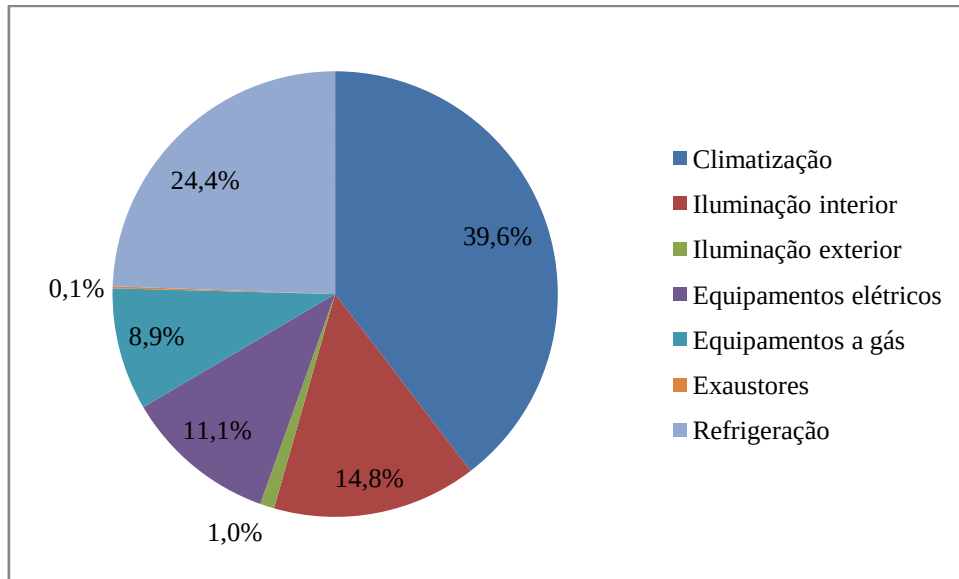


Figura 5.14 - Matriz de consumo de energia do supermercado com menos pessoas.

O consumo energético anual não é afetado de maneira significativa com a variação de 20% no número de usuários.

A Tabela 5.13 sintetiza os resultados obtidos pela análise de sensibilidade realizada. A última coluna refere-se à variação do consumo da edificação modificada em relação ao consumo total da edificação de referência.

Tabela 5.13 – Resumo dos resultados da análise de sensibilidade.

	Elettricidade (kWh/m ² /ano)	Gás natural (kWh/m ² /ano)	Total (kWh/m ² /ano)	Variação (%)
Base	371,8	36,2	408,1	0,0
Maior Potência de Refrigeração	409,9	36,2	446,1	9,3
Menor Potência de Refrigeração	333,1	36,2	369,3	-9,5
Maior COP Refrigeração	359,8	36,2	396,1	-2,9
Menor COP Refrigeração	390,9	36,2	427,2	4,7
Maior COP Climatização	369,2	36,2	405,5	-0,6
Menor COP Climatização	375,4	36,2	411,7	0,9
Número maior de pessoas	372,5	36,2	408,7	0,2
Número menor de pessoas	371,2	36,2	407,4	-0,2

Nota: A variação do consumo negativa significa que o consumo de energia é menor do que o da edificação de referência.

Entre os parâmetros analisados, o que mais influência o consumo do supermercado é a potência dos balcões e das câmaras frigoríficas. Em segundo lugar, está o coeficiente de desempenho (COP) deste sistema.

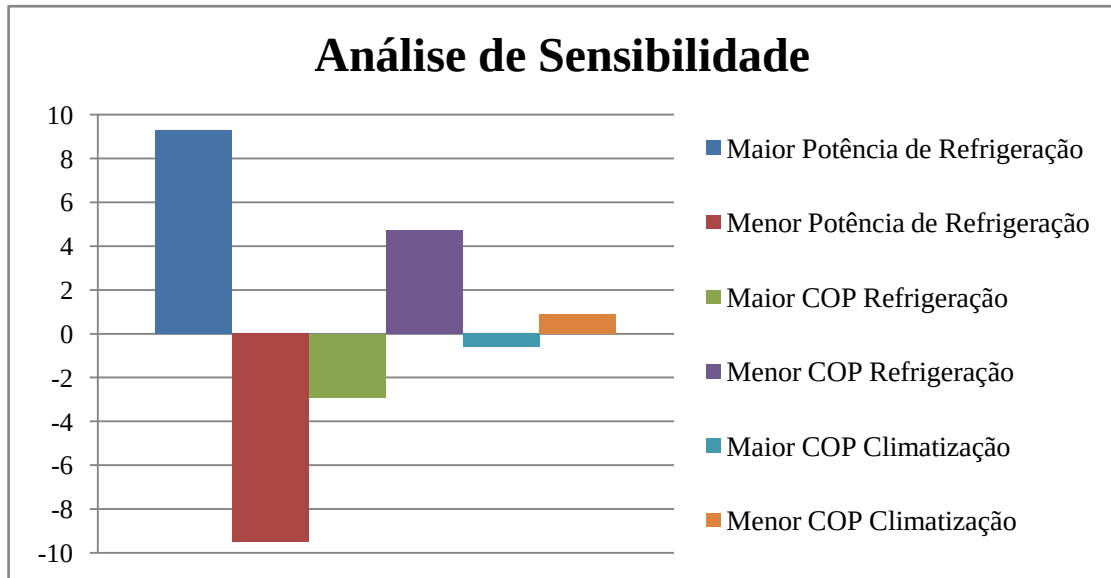


Figura 5.15 – Influência de parâmetros dos sistemas de refrigeração e climatização no consumo de energia do supermercado de referência localizado em São Paulo

5.4 Simulação do supermercado localizado em outras regiões climáticas

A edificação de referência, apresentada na seção 4, foi simulada para mais quatro cidades brasileiras: Belém, Brasília, Porto Alegre e Rio de Janeiro. As únicas alterações foram os dados climáticos, que variam de acordo com a região.

A Tabela 5.14 apresenta o consumo energético de cada sistema do estabelecimento, em kWh/ano, para cada região.

Tabela 5.14 – Consumo de energia (MWh/ano) por sistema e região.

	Belém (MWh/ano)	Brasília (MWh/ano)	Porto Alegre (MWh/ano)	Rio de Janeiro (MWh/ano)	São Paulo (MWh/ano)
Climatização	728,1	692,1	683,5	729,0	676,6
Iluminação interior	252,6	252,6	252,6	252,6	252,6
Iluminação exterior	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6
Equipamentos elétricos	188,4	188,4	188,4	188,4	188,4
Equipamentos a gás	151,5	151,5	151,5	151,5	151,5
Exaustores	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Refrigeração	483,6	435,0	413,6	483,7	416,8
Sistema de água	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Total	1824,4	1739,7	1709,7	1825,3	1706,1

Segundo a Tabela 5.14, o supermercado localizado no Rio de Janeiro é o que apresenta maior consumo total de energia. Isto ocorre, principalmente, devido aos sistemas de climatização e refrigeração. Em segundo lugar, está o estabelecimento situado em Belém, pelos mesmos motivos do primeiro.

Entre os sistemas que compõem o supermercado, o de climatização e refrigeração são os únicos que variam, significativamente, de uma cidade para outra. Devido a este fato e para facilitar a visualização desta diferença, o consumo destes sistemas, em cada cidade, foi ilustrado na Figura 5.16.

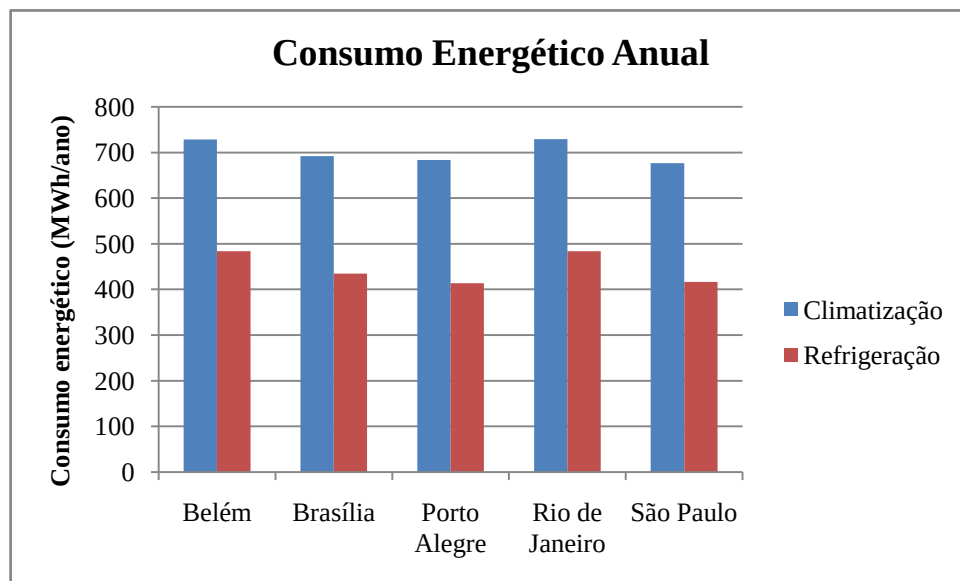


Figura 5.16 - Consumo de energia elétrica pelo sistema de refrigeração e climatização em cinco cidades brasileiras.

Segundo Silva e Neto (2010), a variação do consumo destes sistemas entre as cidades pode ser associada às diferentes temperaturas de bulbo seco e aos níveis de radiação solar, ambos característicos de cada região.

Com o objetivo de facilitar a análise do consumo energético por sistema e cidade, optou-se pela produção de matrizes de consumo para cada região, apresentadas a seguir nas Figuras 5.17 a 5.20.

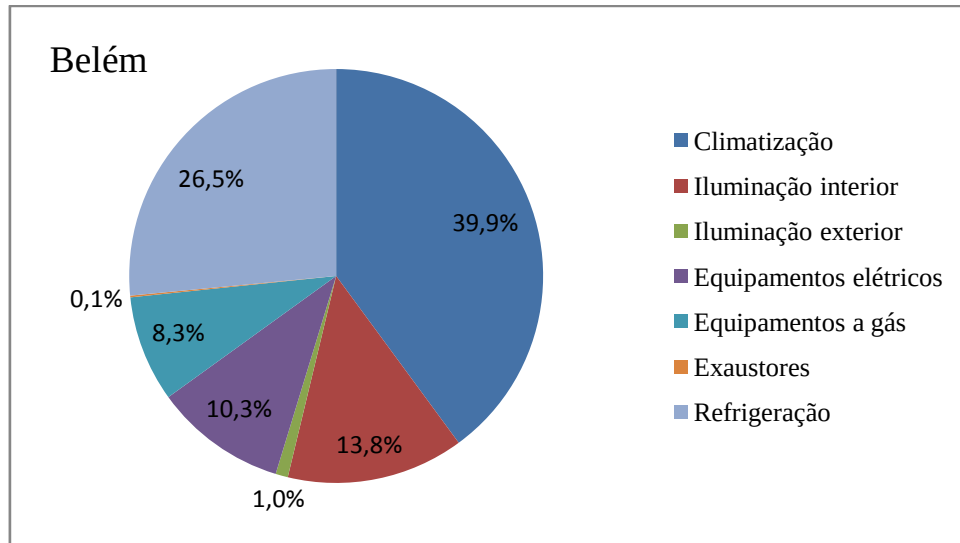


Figura 5.17 - Matriz de consumo de energia do supermercado localizado em Belém.

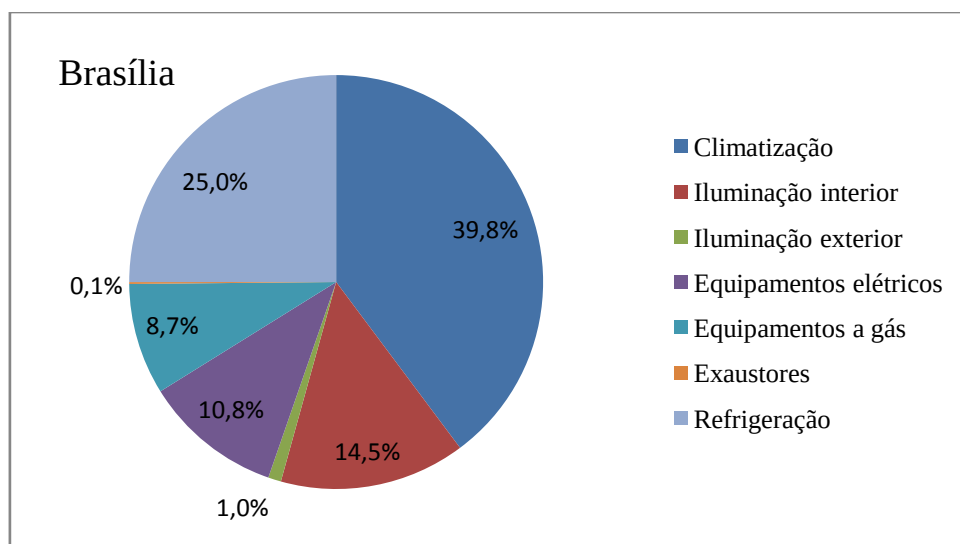


Figura 5.18 – Matriz de consumo de energia do supermercado localizado em Brasília.

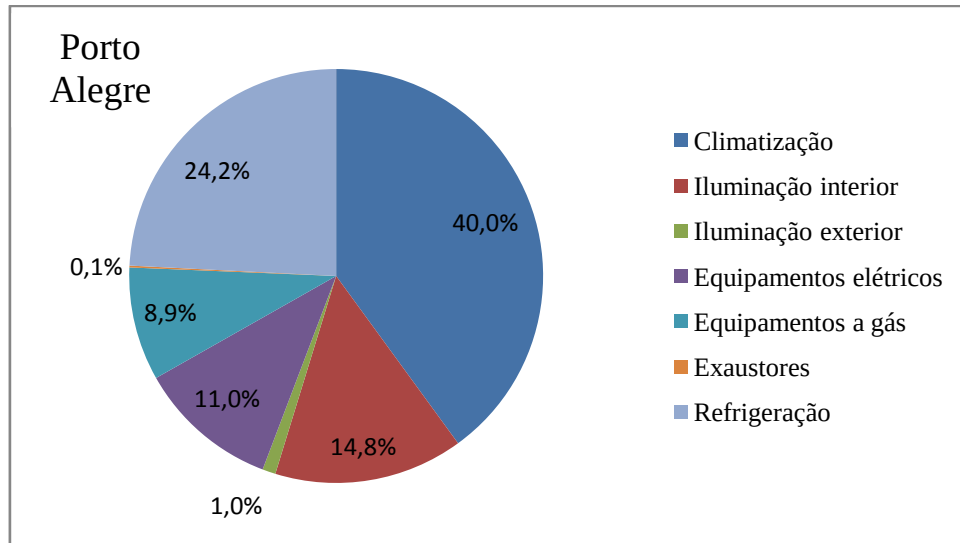


Figura 5.19 - Matriz de consumo de energia do supermercado localizado em Porto Alegre.

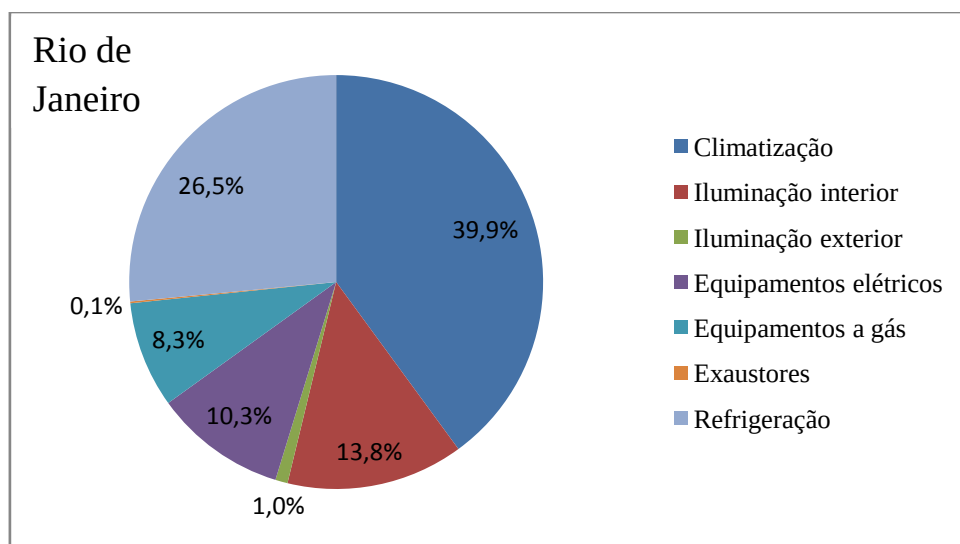


Figura 5.20 - Matriz de consumo de energia do supermercado localizado no Rio de Janeiro.

A Tabela 5.15 apresenta o consumo energético mensal do supermercado localizado nas cinco cidades. Os valores em vermelho e em verde referem-se, respectivamente, aos maiores e menores consumos mensais. Belém, Brasília e Rio de Janeiro apresentam maior consumo no mês de Março; Porto Alegre e São Paulo no mês de Janeiro. Em todas as regiões analisadas, o consumo é mínimo em Junho ou Julho, que correspondem a meses de inverno no Brasil.

Os dados da Tabela 5.15 estão ilustrados na Figura 5.21.

Tabela 5.15 – Consumo mensal de energia por cidade.

	Belém (MWh/mês)	Brasília (MWh/mês)	Porto Alegre (MWh/mês)	Rio de Janeiro (MWh/mês)	São Paulo (MWh/mês)
Janeiro	159,4	150,2	156,1	159,5	151,6
Fevereiro	145,8	137,6	141,7	145,8	138,3
Março	160,6	152,9	154,1	160,7	150,9
Abril	150,9	145,4	140,6	151,0	140,3
Maio	152,6	147,2	135,7	152,7	141,1
Junho	145,2	136,7	132,2	145,3	134,7
Julho	147,7	135,9	133,6	147,8	138,5
Agosto	153,6	142,0	139,9	153,6	137,8
Setembro	146,0	143,6	133,5	146,1	134,9
Outubro	154,7	152,5	145,1	154,7	147,0
Novembro	150,0	145,3	142,9	150,1	141,3
Dezembro	157,8	150,5	154,4	157,9	149,7
Total (MWh/ano)	1824,4	1739,7	1709,7	1825,3	1706,1

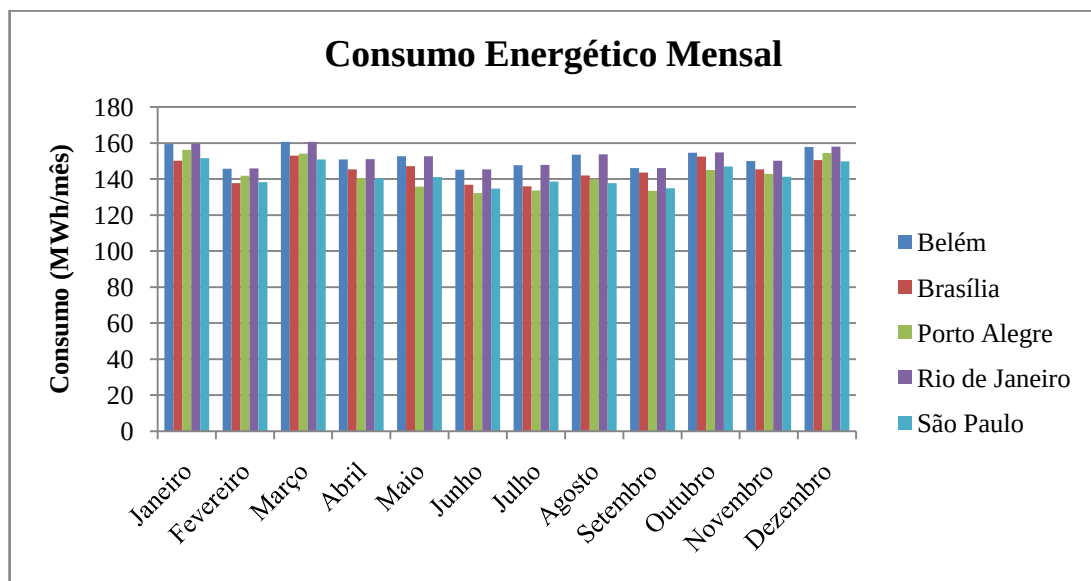


Figura 5.21 – Consumo mensal de energia por cidade.

O consumo mensal de energia elétrica por sistema e cidade, encontra-se no Anexo B deste relatório.

5.1 Índices de consumo de energia

A partir dos dados obtidos pelas simulações anuais do supermercado nas diferentes cidades brasileiras, foi possível determinar índices de consumo energético deste estabelecimento para cada região, os quais podem ser utilizados como índices de referência para estabelecimentos semelhantes.

O índice de consumo energético por área climatizada (ICEPA) é obtido por meio da Equação (7).

$$ICEPA = \frac{\text{Consumo energético}}{\text{Área construída}} \quad (7)$$

A Tabela 5.16 apresenta o ICEPA do supermercado para cada cidade analisada. Os valores referem-se ao consumo energético anual, fornecido pela Tabela 5.15, dividido pela área climatizada da edificação (4180,79 m²).

Tabela 5.16 – ICEPA para supermercados localizados em cinco cidades brasileiras.

	Eletricidade (kWh/ano/m ²)	Gás (kWh/ano/m ²)	ICEPA (kWh/ano/m ²)
Belém	400,2	36,2	436,4
Brasília	379,9	36,2	416,1
Porto Alegre	372,7	36,2	408,9
Rio de Janeiro	400,4	36,2	436,6
São Paulo	371,8	36,2	408,1

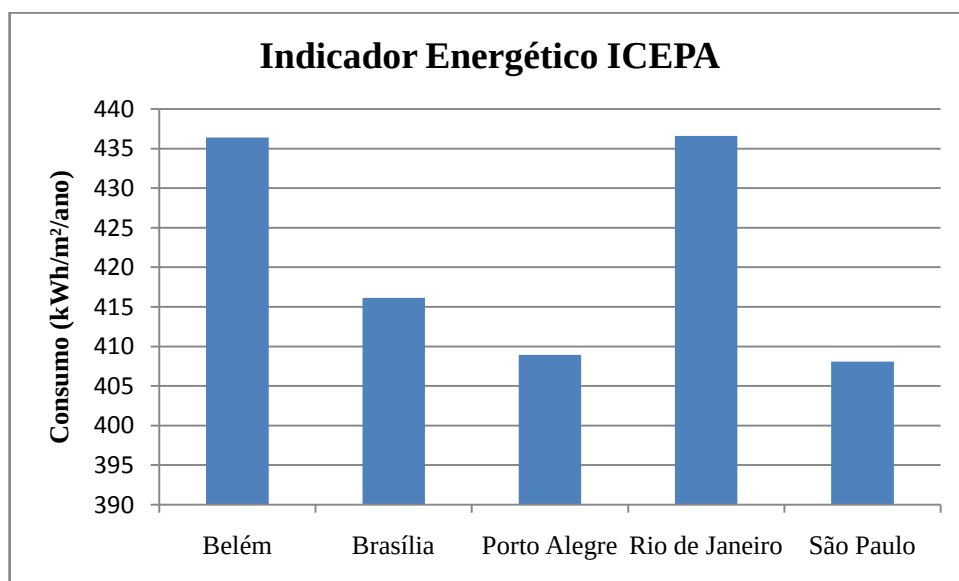


Figura 5.22 – Consumo de energia (eletricidade e gás natural) por ano e metro quadrado de área construída (ICEPA).

A Figura 5.22 ilustra o consumo de energia total (kWh/ano/m²) por cidade apresentado na Tabela 5.16 e permite verificar, com mais facilidade, a influência do clima no consumo energético do estabelecimento. Segundo esta Figura, o supermercado consome mais energia na cidade de Rio de Janeiro, seguida por Belém.

Para avaliar se o índice utilizado é satisfatório pode-se aplicar a Equação (8). Se o valor obtido for, aproximadamente, 12%, o índice é considerado aceitável (SILVA e NETO, 2010). Esta porcentagem representa as incertezas relacionadas com o Energy Plus, cálculos e obtenção de dados.

$$\Delta I_i = \frac{(I_i - I_{\min})}{I_{\min}} \cdot 100 \quad (8)$$

Na qual

i é a cidade;

ΔI_i é a variação percentual do índice energético da cidade i com relação ao índice mínimo;

I_i é o índice energético da cidade i ;

$I_{\min}$ é o índice energético mínimo.

Aplicando-se a Equação (8) aos dados da Tabela 5.16, tem-se que a maior diferença percentual (ΔI_i), entre o maior valor do ICEPA (no Rio de Janeiro) e o menor valor (em São Paulo), é de 7,0%. Esta variação é considerada aceitável. Logo, o ICEPA é um bom indicador energético para supermercados localizados no Brasil.

A análise também pode ser feita para o consumo mensal, aplicando-se a Equação (9).

$$\Delta I_{ij} = \frac{(I_{ij} - I_{\min,j})}{I_{\min,j}} \cdot 100 \quad (9)$$

Na qual

i é a cidade;

j é o mês;

ΔI_{ij} é a variação percentual do índice mensal da cidade i no mês j ;

I_{ij} é o índice mensal da cidade i no mês j ;

$I_{\min,j}$ é o índice mínimo no mês j .

É importante ressaltar que a referência adotada tanto no cálculo do ΔI_i quanto do ΔI_{ij} é sempre o valor mínimo ($I_{\min}$ ou $I_{\min,j}$).

A Tabela 5.17 é obtida aplicando-se a Equação (9) para os dados de consumo mensal da Tabela 5.15. Pode-se verificar que a maior diferença percentual (ΔI_{ij}) é 12,5% e ocorre no mês de Maio, entre Belém (maior valor) e Porto Alegre (menor valor).

Tabela 5.17 – Variação do consumo mensal com relação ao menor valor (ΔI_{ij}).

	Belém (%)	Brasília (%)	Porto Alegre (%)	Rio de Janeiro (%)	São Paulo (%)
Janeiro	6,2	0,0	4,0	6,2	1,0
Fevereiro	5,9	0,0	3,0	6,0	0,5
Março	6,4	1,4	2,1	6,5	0,0
Abril	7,5	3,6	0,2	7,6	0,0
Maio	12,5	8,5	0,0	12,6	4,0
Junho	9,9	3,4	0,0	9,9	1,9
Julho	10,6	1,7	0,0	10,7	3,7
Agosto	11,5	3,1	1,6	11,5	0,0
Setembro	9,4	7,6	0,0	9,5	1,1
Outubro	6,6	5,1	0,0	6,7	1,3
Novembro	6,2	2,8	1,1	6,2	0,0
Dezembro	5,4	0,5	3,2	5,5	0,0

Há outro indicador que considera as condições climáticas: o Índice Energético Normalizado (IEN). Ele é obtido dividindo-se o ICEPA pela média anual da temperatura de bulbo seco (MTBSA).

$$IEN = \frac{ICEPA}{MTBSA} \quad (10)$$

Tabela 5.18 – Índice Energético Normalizado (IEN)

	MTBSA (°C)	IEN (kWh/ano/m²/°C)
Belém	26,0	16,8
Brasília	21,2	19,7
Porto Alegre	19,2	21,3
Rio de Janeiro	23,5	18,6
São Paulo	19,4	21,0

Aplicando-se a Equação (8) aos IENs da Tabela 5.18, tem-se que a variação (ΔI_i) máxima é 27,1%, entre Porto Alegre (maior valor) e Belém (menor valor).

Novamente, se estendermos a análise para o consumo mensal, dividindo este pela área climatizada e pela média mensal da temperatura de bulbo seco (Apêndice C), teremos os valores apresentados na Tabela 5.19.

Tabela 5.19 – Índice Energético Normalizado (IEN) mensal

	Belém	Brasília	Porto Alegre	Rio de Janeiro	São Paulo
Janeiro	1,5	1,6	1,6	1,5	1,6
Fevereiro	1,4	1,5	1,5	1,3	1,4
Março	1,5	1,7	1,7	1,5	1,7
Abril	1,4	1,7	1,7	1,4	1,7
Maio	1,4	1,7	2,2	1,6	1,9
Junho	1,3	1,7	2,1	1,7	2,0
Julho	1,4	1,7	2,1	1,8	1,9
Agosto	1,4	1,7	2,0	1,7	1,9
Setembro	1,3	1,6	2,0	1,7	1,9
Outubro	1,4	1,7	1,8	1,6	1,9
Novembro	1,3	1,6	1,6	1,5	1,7
Dezembro	1,5	1,6	1,6	1,5	1,6
IEN	16,8	19,7	21,3	18,6	21,0

Aplicando-se a Equação (9) aos dados da Tabela 5.19, é possível obter a variação mensal (ΔI_{ij}) do IEN entre as cidades. Esta atinge o valor máximo de 57,8% no mês de Junho, também entre Porto Alegre (maior valor) e Belém (menor valor).

A Tabela 5.20 fornece as variações máximas dos índices adotados neste trabalho (ICEPA e IEN).

Tabela 5.20 – Variações máximas dos índices ICEPA e IEN.

	ΔI_i (%)	ΔI_{ij} (%)
ICEPA	7,0	12,5
IEN	27,1	57,8

Analisando-se os ΔI_i e ΔI_{ij} máximos do ICEPA e IEN, conclui-se que o primeiro (ICEPA) é o mais adequado para estabelecimentos semelhantes ao apresentado na seção 4 deste trabalho, por fornecer variações menores (Silva, 2010).

Canbay; Hepbasli e Gokcen (2004) apud Silva e Neto (2010) propuseram outro indicador: o Índice de Desempenho Normalizado (IDN). A normalização do consumo é obtida pela divisão do

consumo energético anual pela área construída e por um fator que leva em consideração os arredores da edificação. O IDN também é corrigido por uma correlação que inclui o “grau-dia” da cidade.

Silva e Neto (2010) utilizaram o ICEPA, o IEN e o IDN para avaliar o consumo de estabelecimentos comerciais localizados em Belém, Brasília, Rio de Janeiro e São Paulo. As máximas variações dos índices ICEPA, IEN e IDN foram, respectivamente, 19,5%, 12,1% e 51,0%. Os autores atribuíram a elevada variação do IDN ao fato de que este índice é muito sensível às cargas térmicas, além de não fornecer uma razoável correção dos efeitos climáticos. Logo, entre todos os indicadores, o IEN foi o mais satisfatório e o adotado como um índice de referência para seu estabelecimento.

Se a determinação do melhor índice energético fosse feita sem considerar Porto Alegre, como em Silva e Neto (2010), ainda teríamos o ICEPA como melhor opção para o supermercado apresentado na seção 4 deste trabalho. Pois o ΔI_i máximo do IEN seria 25,2% e o ΔI_{ij} do IEN seria 50,8%, ambos entre São Paulo e Belém.

Portanto, não há um índice energético adequado para todos os casos. Cada estabelecimento deve ser cuidadosamente estudado para que um índice possa ser determinado e adotado como referência.

6 Conclusões

O consumo energético do supermercado de referência localizado em São Paulo é praticamente constante ao longo do ano (Figura 5.5), apresentando variação máxima de 13,5% entre Junho, menor consumo, e Janeiro, maior consumo (Tabela 5.3).

Os sistemas de climatização e de refrigeração são responsáveis pela maior parte do consumo energia do estabelecimento, independe de sua localização (Tabela 5.14). Logo, estes sistemas merecem maior atenção quanto aos seus desempenhos. Em seguida estão a iluminação e os equipamentos elétricos.

A análise de sensibilidade do consumo de energia da edificação de referência, localizada na cidade de São Paulo, permitiu maior conhecimento dos sistemas que a constituem e sua influência no consumo de energia. Entre todos os parâmetros analisados, a potência dos balcões e das câmaras de refrigeração é o que mais afeta o consumo total, aproximadamente 9,4% (Tabela 5.13).

A simulação anual do supermercado de referência – apresentado na seção 4 deste trabalho – para diferentes cidades brasileiras forneceu a influência do clima no consumo de energia do mesmo e a definição de índices energéticos de referência para estes estabelecimentos.

Entre os dois índices apresentados: ICEPA e IEN, o primeiro apresentou menor variação entre as cidades, aproximadamente 7,0%, sendo, portanto, o mais adequado para supermercados brasileiros. Esperava-se uma maior diferença de consumo de energia entre as cidades. Acredita-se que a temperatura de bulbo úmido local e as cargas fixas do supermercado (iluminação, equipamentos, exaustores, entre outros), que representam, aproximadamente, 36% do consumo total de energia, possam estar “mascarando” esta variação. Por isso, um estudo mais aprofundado, com relação a estes parâmetros, é aconselhável.

O desenvolvimento do modelo de um estabelecimento segundo a norma ASHRAE 90.1-2004 e sua implementação no software Energy Plus requerem muita dedicação e atenção, mas a simulação não é um processo demorado e fornece dados úteis para a análise do desempenho energético da edificação.

O método adotado para a análise do consumo de energia de supermercados e para a obtenção de índices energéticos de referência para estes estabelecimentos é eficiente e pode ser utilizado para qualquer tipo de edificação.

Como não há índices energéticos de referência disponíveis para supermercados brasileiros, espera-se que este documento possa fornecer estes valores e informações suficientes de como obtê-los,

auxiliando os responsáveis pelo setor a enquadrarem seus estabelecimentos aos níveis adequados de consumo de energia.

É importante esclarecer que o desempenho energético de uma edificação só pode ser comparado com o de outra se ambas apresentarem características semelhantes, como função, geometria, localização climática, equipamentos, entre outros.

7 Referências Bibliográficas

ASHRAE, AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings**. ASHRAE Standard 90.1- 2004. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, 2004.

AULÍSIO, C.; PEREIRA, J. J.; PAEZ, M. O Ligado. Publicação da vice-presidência de comunicação e responsabilidade social da AES Eletropaulo. Edição 31, ano 4. Dezembro de 2006.

BERNDSSEN, J. C. **Desenvolvimento Experimental e Análise Exergética de um Sistema Triggerador para Produção Simultânea de Calor, Eletricidade e Frio**. 2007. 79 p. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em: <http://www.pipe.ufpr.br/portal/defesas/dissertacao/125.pdf> Acesso: 17/11/2009.

CANBAY, Ç. S.; HEPBASLI, A.; GOKCEN, G. 2004. **Evaluating performance indices of a shopping centre and implementing HVAC control principles to minimize energy usage**. Energy And Buildings, n. 36, p. 587-598.

CARLO, J. CORRENA. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envolvimento de Edificações Não-Residenciais**. 2008. 196 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. Disponível em: <http://www.tede.ufsc.br/teses/PECV0565-T.pdf> Acesso em: 25/10/2009.

CELESC. **Eficiência Energética e Gestão da Energia Elétrica na Indústria**. Manual Técnico. 50 p. Disponível em: <http://www.acij.com.br>. Acesso: 08/10/2009

CHUNG, W.¹; HUI, Y. V.¹; LAM, M.² **Benchmarking the Energy Efficiency of Commercial buildings**. ¹ Department of Management Sciences, City University of Hong Kong, Kowloon, Hong Kong. ² Department of Community Health and Epidemiology, Queen's University, Kingston, Ont., Canada, 2004. Technical Article. 14 p. Available in: <http://www.sciencedirect.com> Access:19/11/2009.

DUCOULOMBIER, M.; TEYSSEDOU, A.; SRIN, M. **A Model for Energy Analysis in Supermarkets**. Technical Article. 8 p. Canadá, 2005. Available in: <http://www.sciencedirect.com> Access: 30/10/2009.

Energy Star. **Technical Description for the Grocery Store/Supermarket Model**. Available from: http://208.254.22.6/ia/business/evaluate_performance/tech_desc_supermarkets.pdf

HILÁRIO, W. **Eficiência e ecologia refrigerando seu supermercado**. SuperHiper. Julho de 2008. Disponível em: <http://www.abras.com.br/fundacao/sustentabilidade/noticias/?materia=198>. Acesso: 29/06/2010.

MARCHIO, D.; OPHELIN, M. **Computer-Aided Energy Use Estimation in Supermarkets**. Technical Article. 2006. 8 p – Centre d’Energétique de l’Ecole des Mines de Paris, France, 2006. Available in: http://www.ibpsa.org/proceedings/BS1997/BS97_P088.pdf Access: 19/11/2009.

MMA - Ministério do Meio Ambiente, Associação Brasileira de Supermercados, Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. **Manual de Boas Práticas em Supermercados para Sistemas de Refrigeração e Ar Condicionado**. 2009. Disponível em: <http://www.unep.fr>. Acesso: 09/10/2009.

PANESI, A. R. Q. **Eficiência Energética em Supermercados**. 2º Encontro de Engenharia e tecnologia dos Campos Gerais, 14 e 15 de agosto de 2008. Disponível em: http://www.pg.utfpr.edu.br/ppgep/anais/artigos/eng_elet_automacao/18%20EFICIENCIA%20ENERG ETICA%20EM%20SUPERMERCADOS.pdf . Acesso: 30/09/2009.

PINTO, M. O. **Contribuição das Ciências Contábeis para o Desenvolvimento Sustentável**. 2005. 120 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: http://www.bdttd.ndc.uff.br/tde_arquivos/14/TDE-2007-06-01T140204Z-834/Publico/Dissertacao%20Marcos%20Oliveira.pdf Acesso: 10/10/2009.

SHARP, T. **Energy Benchmarking in Comercial-Office Buildings**. In: ACEEE 1996 Summer Study on Efficiency in Buildings, vol. 4; 1996. P. 321-9.

SILVA, J. E. C. S.; NETO, A. H. **Evaluation of a Energy Consumption Index for Commercial Buildings in Brazil**. Escola Politécnica – University of São Paulo. 13th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering. December 05-10, 2010, Uberlandia, MG, Brazil.

SILVA, M. G. **Legislação e Aplicação**. Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra. RSECE Energia. Seminário apresentado no Centro de Congressos Lagoas Park, Portugal, 2008. Disponível em: http://www.tdgi.pt/sce/03_RSECE - ENERGIA.pdf. Acesso em: 19/11/2009.

UK Building Research Establishment. **Energy Benchmarking in the Retail Sector 1999**. Building Maintenance Information Report, Report n° SR 281. London, UK: Building Cost Information Service Ltda. 1999.

VIALLI, A. **Eficiência energética ganha espaço nas empresas**. 17 de julho de 2009. Disponível em: <http://www.mercadoetico.terra.com.br> Acesso em: 17/11

APÊNDICE A – Características dos materiais da envoltória

O apêndice A apresenta as principais características dos materiais utilizados na construção da envoltória. Elas são fundamentais para o cálculo da transferência de calor entre a edificação e o meio externo.

Tabela A.1 – Características do vidro da janela do setor de vendas do supermercado de referência.

Características	
Espessura (m)	0,0081
Transmitância solar	0,1
Reflectividade solar	0,47
Transmitância visível	0,15
Transmitividade de raios infravermelhos	0
Emissividade	0,84
Condutividade (W/m·K)	0,12
Fator de correção devido à sujeira	1
Difusividade	–

Tabela A.2 – Características das paredes externas do supermercado de referência.

Características	Camada 1	Camada 2	Camada 3	Camada 4
Material	Estuque	Concreto	Isolante	Gesso
Superfície	Lisa	Rugosa	Rugosa	Lisa
Espessura (m)	0,0253	0,22	0,0453	0,0127
Condutividade (W/m·K)	0,6918	2	0,0432	0,16
Densidade (kg/m ³)	1858	2243	91	784,9
Calor específico (J/kg·K)	837	837	837	830
Absortância térmica	0,9	0,9	0,9	0,9
Absortância solar	0,92	0,65	0,5	0,92

Tabela A.3 – Características do telhado do supermercado de referência.

Características	Camada 1	Camada 2	Camada 3
Material	Membrana	Isolante	Metal
Superfície	Muito rugosa	Rugosa	Lisa
Espessura (m)	0,01	0,15	0,002
Condutividade (W/m·K)	0,18	0,065	46
Densidade (kg/m ³)	1121,19	265	7680
Calor específico (J/kg·K)	1460	836,8	418,4
Absortância térmica	0,9	0,9	0,9
Absortância solar	0,7	0,7	0,7

Tabela A.4 – Características do piso do supermercado de referência.

Características	
Material	Concreto
Superfície	Rugosa
Espessura (m)	0,2
Condutividade (W/m·K)	1
Densidade (kg/m ³)	2240
Calor específico (J/kg·K)	836,8
Absortância térmica	0,9
Absortância solar	0,7

APÊNDICE B – Consumo mensal do supermercado

Este apêndice fornece o consumo mensal do supermercado localizado em quatro cidades brasileiras: Belém, Brasília, Porto Alegre e Rio de Janeiro. O sistema de abastecimento de água não está presente, mas seu consumo é constante ao longo do ano, como mostrado na seção 5.2 deste trabalho.

Tabela B.1 - Consumo mensal do supermercado localizado em Belém.

	Iluminação interna (MWh/mês)	Iluminação externa (MWh/mês)	Equip. elétricos (MWh/mês)	Climatização (MWh /mês)	Refrigeração (MWh /mês)	Exaustores (MWh /mês)	Total (MWh /mês)
Jan	20,85	1,34	15,75	66,15	42,27	0,21	146,57
Fev	19,66	1,26	14,58	59,82	38,65	0,19	134,15
Mar	21,97	1,48	16,24	65,25	42,57	0,21	147,71
Abr	20,36	1,51	15,29	61,10	40,01	0,20	138,47
Mai	21,59	1,62	16,07	59,80	40,46	0,21	139,76
Jun	21,20	1,60	15,68	55,59	38,50	0,20	132,77
Jul	21,12	1,64	15,85	56,87	39,16	0,21	134,86
Ago	21,97	1,59	16,24	59,98	40,71	0,21	140,70
Set	20,73	1,46	15,46	56,99	38,71	0,20	133,55
Out	21,59	1,43	16,07	61,47	41,00	0,21	141,78
Nov	20,45	1,31	15,36	60,47	39,77	0,20	137,57
Dez	21,12	1,32	15,85	64,63	41,84	0,21	144,97

Tabela B.2 - Consumo mensal do supermercado localizado em Brasília.

	Iluminação interna (MWh/mês)	Iluminação externa (MWh/mês)	Equip. elétricos (MWh/mês)	Climatização (MWh /mês)	Refrigeração (MWh /mês)	Exaustores (MWh /mês)	Total (MWh /mês)
Jan	20,85	1,39	15,75	61,57	37,55	0,21	137,31
Fev	19,66	1,29	14,58	55,88	34,41	0,19	126,01
Mar	21,97	1,48	16,24	61,93	38,23	0,21	140,05
Abr	20,36	1,49	15,29	59,23	36,35	0,20	132,91
Mai	21,59	1,58	16,07	58,04	36,79	0,21	134,29
Jun	21,20	1,55	15,68	51,46	34,19	0,20	124,28
Jul	21,12	1,60	15,85	50,27	33,98	0,21	123,02
Ago	21,97	1,55	16,24	53,63	35,49	0,21	129,09
Set	20,73	1,45	15,46	57,36	35,89	0,20	131,10
Out	21,59	1,45	16,07	62,14	38,12	0,21	139,59
Nov	20,45	1,35	15,36	59,17	36,33	0,20	132,86
Dez	21,12	1,37	15,85	61,46	37,63	0,21	137,65

Tabela B.3 - Consumo mensal do supermercado localizado em Porto Alegre.

	Iluminação interna (MWh/mês)	Iluminação externa (MWh/mês)	Equip. elétricos (MWh/mês)	Climatização (MWh /mês)	Refrigeração (MWh /mês)	Exaustores (MWh /mês)	Total (MWh /mês)
Jan	20,85	1,28	15,75	67,39	37,77	0,21	143,24
Fev	19,66	1,23	14,58	60,16	34,29	0,19	130,11
Mar	21,97	1,47	16,24	64,04	37,27	0,21	141,20
Abr	20,36	1,53	15,29	56,74	34,01	0,20	128,14
Mai	21,59	1,67	16,07	50,43	32,82	0,21	122,80
Jun	21,20	1,67	15,68	48,99	31,98	0,20	119,73
Jul	21,12	1,70	15,85	49,51	32,31	0,21	120,71
Ago	21,97	1,62	16,24	53,16	33,85	0,21	127,04
Set	20,73	1,47	15,46	50,85	32,28	0,20	121,00
Out	21,59	1,41	16,07	57,82	35,09	0,21	132,19
Nov	20,45	1,27	15,36	58,59	34,57	0,20	130,44
Dez	21,12	1,26	15,85	65,77	37,36	0,21	141,57

Tabela B.4 - Consumo mensal do supermercado localizado em Rio de Janeiro.

	Iluminação interna (MWh/mês)	Iluminação externa (MWh/mês)	Equip. elétricos (MWh/mês)	Climatização (MWh /mês)	Refrigeração (MWh /mês)	Exaustores (MWh /mês)	Total (MWh /mês)
Jan	20,85	1,34	15,75	66,23	42,27	0,21	146,65
Fev	19,66	1,26	14,58	59,89	38,65	0,19	134,22
Mar	21,97	1,48	16,24	65,33	42,57	0,21	147,79
Abr	20,36	1,51	15,29	61,17	40,01	0,20	138,54
Mai	21,59	1,62	16,07	59,87	40,46	0,21	139,83
Jun	21,20	1,60	15,68	55,65	38,50	0,20	132,84
Jul	21,12	1,64	15,85	56,94	39,16	0,21	134,93
Ago	21,97	1,59	16,24	60,05	40,71	0,21	140,77
Set	20,73	1,46	15,46	57,06	38,71	0,20	133,62
Out	21,59	1,43	16,07	61,54	41,00	0,21	141,85
Nov	20,45	1,31	15,36	60,54	39,77	0,20	137,64
Dez	21,12	1,32	15,85	64,70	41,85	0,21	145,05

APÊNDICE C – Temperatura de bulbo seco (TBS)

Este apêndice apresenta as temperaturas de bulbo seco (TBS) mensais em cada cidade analisada. Estes valores foram utilizados na seção 5.5 para determinar o índice energético normalizado (IEN) do supermercado.

Tabela C.1 – Temperatura de bulbo seco (°C)

	Belém	Brasília	Porto Alegre	Rio de Janeiro	São Paulo
Janeiro	26	22	24	26	23
Fevereiro	25	22	23	26	23
Março	25	22	22	26	21
Abril	26	21	20	25	20
Maio	26	21	15	23	18
Junho	26	19	15	21	16
Julho	26	19	15	20	17
Agosto	26	20	17	22	17
Setembro	26	22	16	21	17
Outubro	27	22	19	23	19
Novembro	27	22	21	24	20
Dezembro	26	22	23	25	22
Média anual (°C)	26	21,2	19,2	23,5	19,4