

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**ANÁLISE TÉRMICA E ENERGÉTICA DE UMA EDIFICAÇÃO
COMERCIAL VISANDO CONFORTO TÉRMICO E REDUÇÃO
DA DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA**

LEILA MARIA TAMANINI ROMAN

Dissertação de Mestrado

São Leopoldo

2013

**ANÁLISE TÉRMICA E ENERGÉTICA DE UMA EDIFICAÇÃO
COMERCIAL VISANDO CONFORTO TÉRMICO E REDUÇÃO
DA DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA**

LEILA MARIA TAMANINI ROMAN

Trabalho submetido ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS como pré-requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Wander

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Daniel Reis Medeiros - UNISINOS

Profª. Dra. Maria Luiza Indrusiak - UNISINOS

Prof. Dr. Mário Henrique Macagnan - UNISINOS

São Leopoldo

2013

R758a Roman, Leila Maria Tamanini.
Análise térmica e energética de uma edificação comercial visando conforto térmico e redução da demanda de energia elétrica / Leila Maria Tamanini Roman. – 2013.
124 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2013.
"Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Wander."

1. EnergyPlus. 2. Eficiência energética. 3. Conforto térmico. 4. Redução de consumo de energia. I. Título.

CDU 621

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Bibliotecário: Flávio Nunes – CRB 10/1298)

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Paulo Wander, por toda a atenção dispensada durante a pesquisa.

Ao meu esposo, Gilmar pelo carinho, companheirismo e paciência com minhas angústias durante todo este percurso.

Aos meus filhos, Ricardo e Rodrigo, pelo amor, incentivo e ajuda na busca de mais esta conquista.

Às Colegas Carol e Fernanda, pela amizade e coleguismo durante os dois anos de convívio.

A Direção e Colegas de Lojas Colombo S.A. Comércio de Utilidades Domésticas, por terem permitido a elaboração deste trabalho e pelo apoio diário.

Aos Amigos Marta e José Roberto, pela ajuda durante meus primeiros passos com o EnergyPlus.

A meus pais e familiares pela torcida e apoio nesta caminhada.

A todos os professores e funcionários do Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, pela amizade, informações e conhecimentos transmitidos.

A colega e amiga Professora Simone, pelo auxílio e amizade.

E, finalmente agradeço a Deus, fonte de luz e perseverança, que ilumina nossos caminhos na busca de novos objetivos.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma avaliação energética, através do *software EnergyPlus*, de uma sala externa com climatização e um prédio de sete andares com ventilação natural. Para tanto, monitoram-se o consumo de energia mensal, os dados climáticos, características arquitetônicas, número de funcionários, localização e demais características que possam interferir direta ou indiretamente no consumo de energia do ambiente de estudo. Os dados obtidos através de levantamento *in loco*, memoriais da área de infraestrutura e recursos humanos, juntamente com a análise das faturas de energia elétrica mensais, servem de parâmetro para a simulação, bem como validam os resultados, permitindo a busca de novas alternativas que visem eficiência e redução no consumo. As avaliações são realizadas tendo como base duas edificações pertencentes ao Centro Administrativo de Lojas Colombo, localizadas em Farroupilha, Rio Grande do Sul. A análise visa minimizar o consumo de energia elétrica buscando garantir o máximo de horas em conforto. Para tanto avalia os índices de conforto térmico, as temperaturas internas, os ganhos internos de calor, as condições de operação do ar condicionado na sala externa e a potência necessária de ar condicionado para instalação nas quinze zonas térmicas pertencentes ao prédio, verificando o consumo energético das alternativas utilizadas e a relação custo-benefício. Através das simulações na sala externa constatou-se que, com a utilização de materiais eficientes termicamente, as trocas térmicas do interior com o exterior são minimizadas, o mesmo ocorrendo com a substituição de equipamentos antigos, a exemplo de monitores de tubo. Nas quinze zonas térmicas do prédio, a instalação de um sistema de ar condicionado se apresenta como alternativa para melhorar os índices de conforto térmico em dias com temperaturas mais elevadas ou mais baixas, situações estas em que a ventilação natural não é suficiente para garantir um ambiente confortável. Esta adequação de climatização dos ambientes elevou o consumo com energia elétrica total do prédio em 17%, contudo ocorreu melhora significativa nos índices de conforto térmico. Na sala externa foi obtida uma redução no consumo de energia elétrica de 14% sobre o consumo total e a garantia de 86% de horas ocupadas em conforto.

Palavras-chave: *EnergyPlus*, eficiência energética, conforto térmico, redução de consumo de energia.

ABSTRACT

This study presents the energetic evaluation, through the software EnergyPlus, of an external room with acclimatization and of a seven-story building with natural ventilation. For this, the monthly energy consumed, the climatic data, the architectonic characteristics, the number of people, the location and other characteristics which can interfere directly or indirectly the room's energy consumption were monitored. The data obtained through in loco survey, memorials of the infrastructure area and human resources, as well as the analysis of the monthly electrical energy bills, are considered as parameters for the simulation and they validate the results, allowing the search for new alternatives that aim at consumption efficiency and reduction. The evaluations are performed based on two buildings which are part of Centro Administrativo de Lojas Colombo, located in Farrroupilha, Rio Grande do Sul, Brazil. The analysis aims at minimizing the electric energy consumption with the purpose of ensuring the maximum of comfort hours, so it evaluates the indexes of thermal comfort, the inside temperatures, the inside heat gains, the operation conditions of the air-conditioning in the outside room, and the necessary air-conditioning power for the installation in the fifteen thermal zones which belong to the building, verifying the energetic consumption of the used alternatives and the cost-benefit ratio. Through the simulations in the outside room, it was detected that with the use of thermally efficient material, the thermal exchanges between inside and outside are minimized, the same occurs with the substitution of old equipment, such as tube monitors. In the fifteen thermal zones of the building, the installation of an air-conditioning system is an alternative to improve the thermal comfort indexes in days with higher or lower temperatures. These are situations in which the natural ventilation is not enough to ensure that the environment is comfortable. The air conditioning simulated increased the building energy consumption in 17%, although a significative increase in thermal comfort was achieved. At the external room a 14% reduction in electricity consumption, over the total consumption, and the guarantee of 86% of occupied hours in comfort was obtained

Keywords: *EnergyPlus*, energy efficiency, thermal comfort, reduction of energy consumption.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Prédio centro Administrativo Lojas Colombo.....	17
Figura 2.1 - Oferta interna de energia de fontes renováveis e não renováveis	20
Figura 2.2 - Percentual de aumento do consumo energético final por setor comparativo ao ano de 2009	21
Figura 2.3 - Percentual de consumo dos equipamentos elétricos em prédios comerciais com sistema de condicionamento de ar	23
Figura 2.4 - Percentual de consumo dos equipamentos elétricos em prédios comerciais sem sistema de condicionamento de ar	24
Figura 2.5 - Relação entre <i>PPD</i> e <i>PMV</i>	38
Figura 2.6 - Radiação solar incidente em um corpo opaco	41
Figura 2.7 - Radiação solar incidente em um corpo transparente	42
Figura 2.8 - Comportamento de alguns vidros frente à energia radiante.....	42
Figura 3.1 - Vista interna da sala do setor de crédito e cobrança.....	48
Figura 3.2 - Planta baixa sala externa, setor de Crédito e Cobrança	49
Figura 3.3 - Interface principal do programa <i>EnergyPlus</i>	52
Figura 3.4 - Interface do editor do programa <i>EnergyPlus</i>	52
Figura 3.5 - Carta bioclimática de Bento Gonçalves	55
Figura 4.1 - Divisão do prédio administrativo em quinze zonas térmicas.....	60
Figura 4.2 - Desenho do prédio administrativo importado para o <i>EnergyPlus</i>	62
Figura 4.3 - Representação das três zonas térmicas contidas nos quatro primeiros andares	62
Figura 4.4 - Representação da zona térmica contida nos três últimos andares.....	62
Figura 4.5 - Desenho da sala externa importado para o <i>EnergyPlus</i>	63
Figura 4.6 - Proteções solares instaladas nas janelas da edificação	63
Figura 4.7 - Vista das proteções solares (brises) existentes próximas às janelas	63
Figura 4.8 - Índices máximos de <i>PMV</i> simulados referentes ao desconforto pelo calor...72	
Figura 4.9 - Índices máximos de <i>PMV</i> simulados referentes ao desconforto pelo frio.....73	
Figura 4.10 - Índices de <i>PMV</i> para um dia quente (caso real)	74
Figura 4.11 - Índices de <i>PMV</i> para um dia frio (caso real).....	74

Figura 4.12 - Temperaturas internas de um dia de projeto de verão (caso real sala externa).....	75
Figura 4.13 - Temperaturas internas de um dia de projeto de inverno (caso real sala externa).....	75
Figura 4.14 - Índices máximos de PMV das quinze zonas térmicas do prédio (caso real).....	80
Figura 4.15 - Índices mínimos de PMV das quinze zonas térmicas do prédio (caso real).....	80
Figura 4.16 - Temperaturas internas máximas das quinze zonas térmicas do prédio (caso real).....	82
Figura 4.17 - Temperaturas internas mínimas das quinze zonas térmicas do prédio (caso real).....	83
Figura 4.18 - Índices de PMV para o dia de projeto de verão com variação nos parâmetros do termostato (caso 1)	88
Figura 4.19 - Variação dos índices de PMV para um dia frio obtidos com variação de temperatura no termostato (caso 1).....	89
Figura 4.20 - Índices de PMV para o dia de projeto de verão com variação na espessura do vidro (caso 2).....	91
Figura 4.21 - Variação dos índices de PMV para um dia frio com variação na espessura do vidro (caso 2).....	91
Figura 4.22 - Índices de PMV para o dia de projeto de verão com instalação de proteção solar - Brise (caso 3)	94
Figura 4.23 - Variação dos índices de PMV para um dia frio com instalação de proteção solar - Brise (caso 3)	94
Figura 4.24 - Índices de PMV para o dia de projeto de verão com revestimento interno nas paredes externas (caso 4).....	98
Figura 4.26 - Índices de <i>PMV</i> de um dia de projeto de verão (caso 4).....	107
Figura 4.27 - Índices de <i>PMV</i> de um dia de projeto de inverno (caso 4)	107
Figura 4.28 - Índices comparativos de <i>PMV</i> para um dia de verão.....	108
Figura 4.29 - Índices comparativos de <i>PMV</i> para um dia de inverno.....	109
Figura 4.30 - Temperaturas em um dia de projeto de verão	109
Figura 4.31 - Temperaturas em um dia de projeto de inverno	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Consumo Nacional de Energia Elétrica por classe 1995/2010.....	22
Tabela 2.2 - Taxa metabólica para diferentes atividades segundo a ISO 7730 (1994)	33
Tabela 2.3 - Índice de resistência térmica para vestimentas segundo ISO 7730 (1994)...	34
Tabela 2.4 - Escala térmica de Fanger	37
Tabela 2.5 - Vazão eficaz mínima de ar exterior para ventilação	44
Tabela 3.1 – ABNT - NBR 16401 – Instalações centrais de ar-condicionado	48
Tabela 3.2 - Dados referentes à sala externa e aos sete andares do prédio	50
Tabela 4.1 - Ocupação diária da sala externa	64
Tabela 4.2 - Ocupação diária de cada zona térmica pertencente ao prédio	65
Tabela 4.3 - Equipamentos elétricos utilizados na sala de cobrança externa	66
Tabela 4.4 - Equipamentos elétricos utilizados nas zonas térmicas do prédio (zona 01 à zona15).....	67
Tabela 4.5 - Características físicas e óticas do vidro utilizado na sala externa. Condição real.....	69
Tabela 4.6 - Características termofísicas dos materiais construtivos na condição real	71
Tabela 4.7 - Ganhos mensais de calor simulados na sala externa (caso real).....	76
Tabela 4.8 - Consumo mensal simulado da sala com energia elétrica (caso real)	78
Tabela 4.9 - Comparativo do consumo mensal de energia elétrica medido e simulado....	79
Tabela 4.10 - Total de horas trabalhadas em conforto ou desconforto.....	81
Tabela 4.11 - Ganhos médios mensais de calor nas zonas térmicas (kWh).....	83
Tabela 4.12 - Consumo médio das quinze zonas térmicas com energia elétrica (caso real)	84
4.13 - Tabela com o consumo mensal simulado de energia elétrica no prédio administrativo.....	85
Tabela 4.14 - Comparativo do consumo mensal de energia elétrica medido e simulado na zona 9	86
Tabela 4.15 - Consumo mensal da sala com energia elétrica. Caso 1	90

Tabela 4.16 - Características físicas e óticas do vidro 6 mm simulado na sala externa. Caso 2	91
Tabela 4.17 - Variação de ganhos de calor por radiação, convecção e infiltração de ar (kWh).....	92
Tabela 4.18 - Consumo mensal da sala com energia elétrica (vidro 6 mm). Caso 2	93
Tabela 4.19 - Variação de ganhos de calor por radiação, convecção e infiltração de ar (kWh).	95
Tabela 4.20 - Consumo mensal da sala com energia elétrica (proteção solar).	95
Tabela 4.21 - Características termofísicas dos materiais utilizados no revestimento interno	96
Tabela 4.22 - Comparativo dos ganhos por radiação, convecção e infiltração nas paredes da sala externa	97
Tabela 4.23 - Consumo mensal da sala com energia elétrica (revestimento). Caso 4	99
Tabela 4.24 - Consumo mensal da sala com energia elétrica (monitores). Caso 5	100
Tabela 4.25 - Resumo dos dados obtidos através das simulações com diferentes materiais	100
Tabela 4.26 - Consumo mensal da sala com energia elétrica (melhores casos). Caso 6.....	101
Tabela 4.27 - Características termofísicas dos materiais utilizados no isolamento térmico do forro.....	102
Tabela 4.28 - Total de horas em conforto e desconforto nas zonas térmicas	103
Tabela 4.29 - Percentual de horas em conforto e desconforto nas zonas térmicas	104
Tabela 4.30 - Horas em conforto ou desconforto com a utilização de revestimento interno	105
Tabela 4.31 - Consumo mensal de energia elétrica das zonas térmicas	110

LISTA DE ABREVIATURAS

ASHRAE	American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers
BEN	Balanço Energético Nacional
Cond FD	Conduction Finite Difference
CRT	Cathodic Ray Tube
CTF	Conduction Transfer Function
EMPD	Effective Moisture Penetration Depth
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EPS	Poliestireno expandido
ESCOs	Empresas de Serviços de Eficiência Energética
HAMT	Heat And Moisture Transfer
HVAC	Heating, Ventilation and Air Conditioning
IDF	Input Data File
IV	infravermelho
LV	luz visível
MEE	Medidas de Eficiência Energética
Mtep	Milhões de toneladas equivalentes de petróleo
OECD	Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PMV	Predicted Mean Vote
PPD	Predicted Percentage of Dissatisfied
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PROCEL EDIFICA	Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações
Tep	Tonelada equivalente de petróleo
TI	Tecnologia da informação
UNISINOS	Universidade do Vale do Rio dos Sinos
UV	ultravioleta
VRF	Fluxo de refrigerante variável

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área	[m ²]
c_p	Calor específico	[kJ/(kg °C)]
h	Altura	[m]
I_{cl}	Resistência térmica das vestimentas	[clo]
L	Espessura	[m]
m	Massa	[kg]
m_c	Massa Corporal	[kg]
Met	Metabolismo	[W/m ²]
P	Potência	[W]
T	Temperatura	[°C]
V	Velocidade	[m/s]
v	Volume	[m ³]
α_s	Absortância solar	-
ρ_s	Refletividade solar	-
τ_s	Transmitância solar	-
ε	Emissividade solar	-
λ	Condutividade térmica	[W/(m.K)]
ρ	Massa específica	[kg/m ³]

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 JUSTIFICATIVA	16
1.2 OBJETIVOS	17
1.2.1 Objetivo Geral.....	17
1.2.2 Objetivos Específicos	18
1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA	18
2 CONSUMO DE ENERGIA EM EDIFICAÇÕES.....	20
2.1 CONSUMO ENERGÉTICO	20
2.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES	24
2.2.1 Revisão de Trabalhos Referentes à Eficiência Energética	26
2.3 CONFORTO TÉRMICO.....	31
2.3.1 Variáveis de Conforto Térmico	32
2.3.2 Índices de Conforto Térmico.....	37
2.4 CARGA TÉRMICA EM EDIFICAÇÕES	38
2.4.1 Geração Interna	39
2.4.1.1 Iluminação	39
2.4.1.2 Equipamentos	40
2.4.1.3 Ocupação	40
2.4.2 Radiação Solar	40
2.4.3 Infiltração e Renovação de Ar Externo	42
2.5 SIMULAÇÃO DE EDIFICAÇÕES.....	44
2.5.1 Programa <i>EnergyPlus</i>	45
2.5.1.1 Características do Programa <i>EnergyPlus</i>	45
3 MATERIAIS E MÉTODOS	47
3.1 EDIFICAÇÃO ESTUDADA.....	47
3.2 PROGRAMA DE SIMULAÇÃO UTILIZADO	51

3.3 ANÁLISE BIOCLIMÁTICA	53
3.3.1 Arquivo Climático.....	55
3.3.2 Dados Avaliados com o Programa <i>EnergyPlus</i>	56
3.4 MÉTODO UTILIZADO	56
3.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	58
4 MODELAGEM DA EDIFICAÇÃO	60
4.1 ZONAS TÉRMICAS	60
4.2 FONTES DE GERAÇÃO DE CALOR	64
4.3 CONDIÇÃO REAL – CASO REAL	68
4.3.1 Sistema de <i>HVAC</i> Sala Externa.....	68
4.3.2 Características Construtivas das Edificações em Estudo	69
4.3.3 Análise dos Resultados da Simulação do Caso Real.....	69
4.4 SIMULAÇÕES DA SALA EXTERNA.....	87
4.4.1 Termostato do Sistema <i>HVAC</i> da Sala Externa - Caso 1	87
4.4.2 Espessura do Vidro - Sala Externa - Caso 2.....	90
4.4.3 Proteção Solar Externa na Janela (Brise) Sala Externa - Caso 3.....	93
4.4.4 Revestimento Interno Sala Externa - Caso 4.....	96
4.4.5 Monitores - Caso 5	99
4.4.6 Melhores Alternativas - Caso 6	101
4.5 SIMULAÇÕES DO PRÉDIO ADMINISTRATIVO	102
4.5.1 Isolamento Térmico no Forro – Caso 1.....	102
4.5.2 Espessura do Vidro - Caso 2.....	103
4.5.3 Revestimento Interno - Caso 3	104
4.5.4 Ar Condicionado - Caso 4.....	106
5 ANÁLISE ECONÔMICA.....	112
6 CONCLUSÃO	115
REFERÊNCIAS	118

APÊNDICE 1 - Consumo mensal de energia elétrica com iluminação e equipamentos (kWh)	123
--	-----

1 INTRODUÇÃO

O cenário atual, impulsionado pelo aumento da competitividade, pela preocupação com a preservação ambiental e, principalmente, pela constante exigência de produtos, bens e serviços de qualidade, demanda uma ampla discussão e preocupação no que diz respeito aos recursos utilizados e, dentre estes, a energia elétrica.

A crise energética brasileira de 2001 e as preocupações ambientais e geopolíticas mundiais relacionadas aos combustíveis fósseis e seus prováveis substitutos motivaram a busca de novas alternativas visando à racionalização do consumo destes recursos. Desta forma, o surgimento de um quadro de dificuldades para o atendimento do mercado de energia elétrica, a partir de maio de 2001, impondo diversas ações governamentais e de toda a sociedade, restituiram ao tema energia sua verdadeira dimensão e importância. Neste contexto, cresce a preocupação com o meio ambiente e a responsabilidade daqueles que o poluem, bem como é dada maior ênfase às questões econômicas e de bem estar, visando ambientes economicamente viáveis e ambientalmente seguros.

Com o objetivo de definir estratégias e mobilizar a sociedade para o uso responsável e eficiente da energia elétrica, combatendo seu desperdício, o Governo Federal, por intermédio do Ministério de Minas e Energia, criou em 1985 o PROCEL, Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Contudo, devido a sucessivas crises nacionais e internacionais que afetaram o abastecimento, este programa ampliou sua área de atuação, desenvolvendo uma série de projetos dirigidos para as classes de consumo industrial, comercial, residencial, iluminação pública, rural e poder público. Exemplo disso foi a criação do PROCEL EDIFICA, Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações, com o objetivo de ampliar, organizar e incentivar ações que visem à conservação e o uso eficiente dos recursos naturais nas edificações, reduzindo os desperdícios e os impactos no meio ambiente.

Profissionais das mais diferentes áreas trabalham em conjunto a fim de minimizar os impactos ambientais e gerir adequadamente as demandas, melhorando a produtividade em qualquer contexto da escala produtiva, bem como garantindo um ambiente com conforto térmico. Desta forma, vários estudos têm sido realizados buscando economia de energia sem, no entanto, comprometer a eficiência e eficácia dos processos e serviços.

Inúmeros trabalhos têm mostrado que a carga térmica contribui de forma significativa para o consumo de energia de prédios e edificações. Nesse sentido, avanços

nas áreas de simulação computacional têm sido de grande valia para o levantamento e análise das cargas térmicas e energéticas de ambientes construídos. A partir dos resultados obtidos, é possível que haja adequações que visem primeiramente economia de energia e, por conseguinte, preservação dos recursos naturais e, posteriormente, melhoras das condições térmicas dos ambientes, proporcionando ao homem bem-estar, saúde e eficiência no trabalho.

Desta forma, com base no contexto apresentado, este trabalho aborda a questão da eficiência energética, tendo como foco a busca de alternativas que visem à redução do consumo de energia elétrica sem, no entanto, comprometer a qualidade e o conforto térmico do ambiente.

1.1 JUSTIFICATIVA

Na terminologia técnica da área de engenharia, o termo racionalização de energia refere-se a técnicas e procedimentos que visam reduzir o desperdício e o uso ineficiente da energia, principalmente elétrica, sem comprometer o conforto e/ou a produção (DIAS, MATOS; BALESTIER, 2001).

A principal justificativa para o tema desta dissertação deve-se ao fato de que, nos últimos anos, o consumo de energia elétrica no setor comercial vem aumentando consideravelmente. Uma forma de minimizar gastos é através de análises focadas na busca de novas alternativas para os usos finais de energia elétrica utilizada nas edificações, como iluminação, ar condicionado, elevadores, bombas e equipamentos de escritório, de maneira a garantir a racionalização, evitando desperdícios e garantindo melhorias na qualidade e conforto térmico dos ambientes.

Outro fato de suma importância e que motiva a abordagem do tema é que no futuro algumas fontes de energia poderão tornar-se escassas, o que elevará os preços e, principalmente, obrigará a busca por novas fontes geradoras, o que, na maioria das vezes, interfere diretamente no meio ambiente, comprometendo o bem estar das futuras gerações.

Frente à necessidade de economia de energia, o desempenho energético de edificações e o conforto térmico dos ambientes tornam-se importantes aliados. Contudo, as análises precisam garantir eficácia e agilidade sendo necessária a adoção de recursos computacionais.

Diante da necessidade de avaliação das condições de consumo de energia e conforto e a busca de alternativas que visem economia, utilizam-se ferramentas de simulação termo energéticas, como por exemplo o programa *EnergyPlus*, o qual avalia o histórico de carga térmica anual de uma unidade, determinando a carga térmica do sistema, o consumo energético da edificação e as condições de conforto de cada zona térmica, bem como avalia a influência de diferentes parâmetros construtivos sobre o consumo energético e o conforto térmico.

A racionalização no uso de energia é uma tendência mundial e através dela é possível garantir economia, conforto e preservação ambiental. Mediante análise do consumo mensal e das cargas térmicas dos vários setores pertencentes ao prédio de sete andares localizado na cidade de Farroupilha mostrado na Fig.1.1, sede administrativa da rede de Lojas Colombo, comparado com os dados obtidos através de simulação computacional utilizando o programa *EnergyPlus*, é possível obter informações relevantes que auxiliem na busca de alternativas que minimizem o consumo de energia e possibilitem redução nos gastos mensais.



Figura 1.1 - Prédio centro Administrativo Lojas Colombo

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Estudar o comportamento termoenergético de uma edificação comercial, visando eficiência energética, conforto térmico e economia de energia, considerando como fatores

determinantes: pessoas, iluminação, equipamentos, material do envoltório e localização do prédio alvo do estudo.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) averiguar as condições do ambiente térmico e o consumo de energia elétrica da edificação, avaliando o índice de conforto térmico, a temperatura, a potência necessária do ar condicionado e o consumo energético de cada andar, de maneira a verificar a relação custo-benefício das ações propostas;
- b) fornecer dados para propiciar, aos ocupantes dos ambientes, condições favoráveis de conforto ambiental e contribuir para melhorar o aproveitamento da energia elétrica;
- c) utilizar o programa *EnergyPlus* como recurso de simulação computacional, para avaliar alternativas que minimizem a demanda de energia e consequente redução de despesas operacionais com energia elétrica.

1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA

A dissertação está estruturada em capítulos, sendo o primeiro introdutório, onde são apresentados os objetivos e as justificativas que servem de motivação para realizar o estudo.

O capítulo 2 apresenta uma revisão da bibliografia referente ao tema abordado nesta dissertação.

O capítulo 3 aborda os métodos utilizados para a elaboração das análises e simulações das zonas térmicas pertencentes à edificação, além dos resultados esperados.

O capítulo 4 descreve as simulações computacionais realizadas, onde são apresentados os resultados obtidos e suas respectivas análises, avaliando os índices de conforto térmico da sala externa e das quinze zonas térmicas pertencentes ao prédio. São determinados quais elementos construtivos permitem diminuição do consumo de energia elétrica e a possibilidade de priorizar a ventilação natural adequando um sistema de climatização de ar para atender a demanda de aquecimento ou resfriamento das zonas térmicas em questão nos períodos em que a ventilação natural não é eficiente para garantir conforto térmico aos ocupantes.

O capítulo 5 analisa a viabilidade econômica do uso das melhores alternativas construtivas avaliadas, da substituição de equipamentos de informática e da combinação do uso da ventilação natural e sistemas de climatização de ar para elevar os percentuais de horas em conforto durante os períodos de ocupação das edificações.

O capítulo 6 apresenta as considerações finais da dissertação, obtidas através dos resultados e das análises das simulações computacionais realizadas, além de sugestões para trabalhos futuros.

2 CONSUMO DE ENERGIA EM EDIFICAÇÕES

Os tópicos estudados na revisão bibliográfica são referentes ao tema abordado e compreendem: 1) consumo energético, 2) eficiência energética em edificações, 3) conforto térmico, 4) carga térmica, 5) sistemas de condicionamento de ar, e 6) programa de simulação *EnergyPlus*.

2.1 CONSUMO ENERGÉTICO

A proporção de energia renovável (energia hidráulica, lenha e carvão vegetal e cana-de-açúcar) na matriz energética brasileira em 2010 atingiu 45,4%. Os demais 54,6% são oriundos de fontes não renováveis, como, por exemplo, o petróleo e derivados, gás natural, carvão mineral e urânio, como mostrado na Fig.2.1. Neste ano, o país consumiu 270,8 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep), com um aumento de 11,0% em relação ao ano de 2009 (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL).

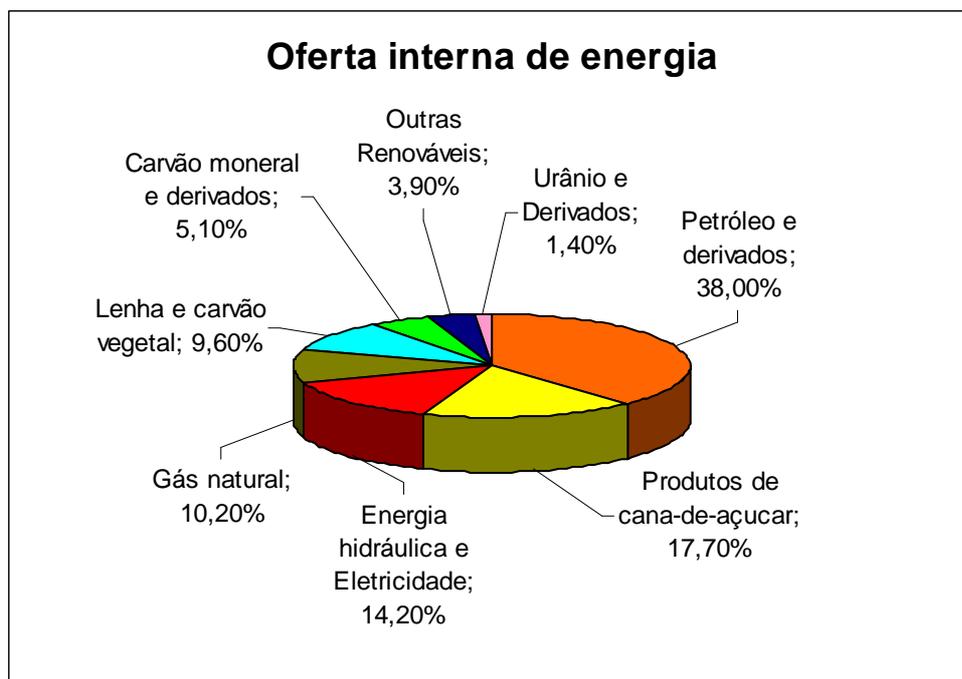


Figura 2.1 - Oferta interna de energia de fontes renováveis e não renováveis

Fonte: Adaptado de BEN (2011)

Neste cenário, a indústria apresentou o maior aumento de demanda de energia, cerca de 13% superior a 2009. O setor de transportes obteve um acréscimo de 10,8% no consumo de combustíveis. O comércio atingiu aumento de 7,3%, seguido pelo setor

energético, o qual agrega os centros de transformação e/ou processos de extração e transporte interno de produtos energéticos, com alta de 7,0%. No setor agropecuário, a porcentagem de alta de demanda foi de 4,8%. Os setores público e residencial foram os que apresentaram menores índices, 2,6% e 1,9% respectivamente, se comparados a 2009, como apresentado na Fig. 2.2.

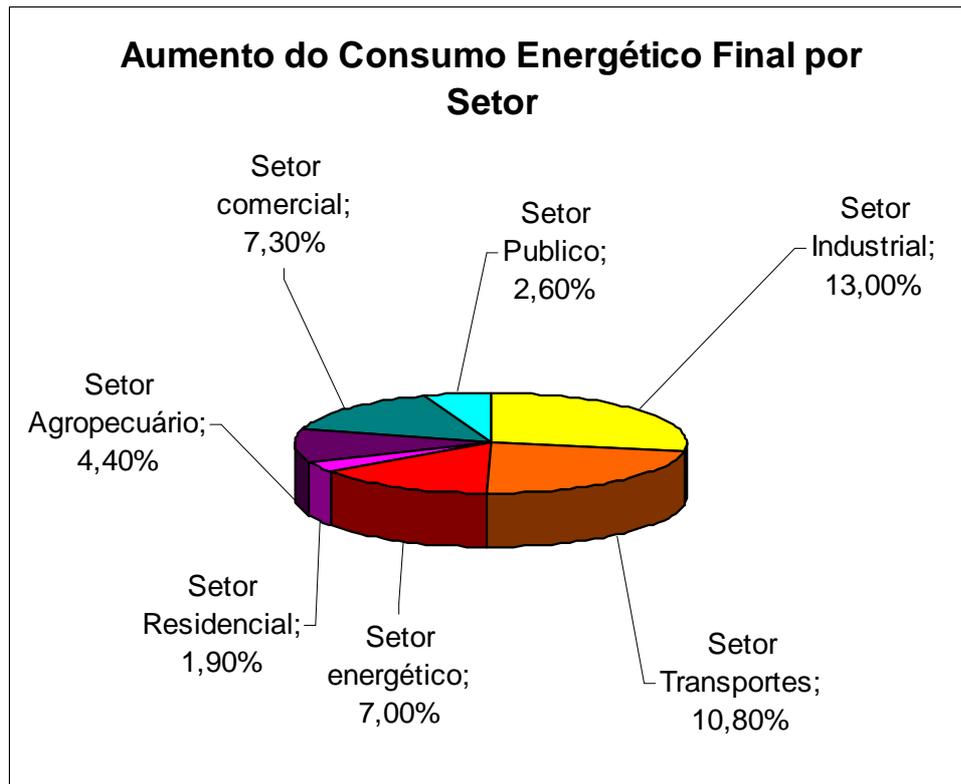


Figura 2.2 - Percentual de aumento do consumo energético final por setor comparativo ao ano de 2009

Fonte: Adaptado de BEN (2011)

Dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE 2010) demonstram o crescente consumo nacional de energia elétrica ao longo do tempo. A Tab. 2.1 apresenta os dados comparativos do consumo nacional entre os anos de 1995 a 2010. A análise destes dados aponta que 38,9% do consumo total de energia elétrica do país são distribuídos entre as edificações dos setores residencial (20%), comercial e público (18,9%).

Considerando que o consumo do setor comercial está diretamente relacionado à própria edificação onde atua, é possível afirmar que ele se origina das características arquitetônicas e de padrões de uso da edificação. Desta forma, podem-se definir como edificações energeticamente eficientes as que, em se mantendo o conforto ambiental e a

qualidade do ar, consomem menos energia elétrica, mitigando impactos ambientais e sócio-econômicos (INATOMI; LEITE, 2009).

Tabela 2.1 - Consumo Nacional de Energia Elétrica por classe 1995/2010

Consumo nacional de energia elétrica por classe 1995-2010								
<i>Consumo (GWh)</i>	<i>1995</i>	<i>1996</i>	<i>1997</i>	<i>1998</i>	<i>1999</i>	<i>2000</i>	<i>2001</i>	<i>2002</i>
Brasil	243.074	257.330	273.280	284.522	292.188	307.529	283.257	293.226
Residencial	63.576	68.581	74.089	79.340	81.291	83.613	73.622	72.72
Industrial	111.63	117.13	121.72	122.90	123.89	131.28	122.54	130.93
Comercial	32.276	34.388	38.198	41.544	43.588	47.626	44.434	45.222
Outros	35.596	37.234	39.276	41.659	43.416	45.011	42.663	44.359
<i>Crescimento (%)</i>	<i>1995</i>	<i>1996</i>	<i>1997</i>	<i>1998</i>	<i>1999</i>	<i>2000</i>	<i>2001</i>	<i>2002</i>
Brasil	7,8	5,9	6,2	4,1	2,7	5,3	-7,9	3,5
Residencial	13,6	7,9	8,0	7,1	2,5	2,9	-11,9	-1,2
Industrial	4,0	4,9	3,9	0,2	1,6	6,0	-6,7	6,8
Comercial	11,9	6,5	11,1	8,8	4,9	9,3	-6,7	1,8
Outros	6,7	4,6	5,5	6,1	4,2	3,7	-5,2	4,0
<i>Consumo (GWh)</i>	<i>2003</i>	<i>2004</i>	<i>2005</i>	<i>2006</i>	<i>2007</i>	<i>2008</i>	<i>2009</i>	<i>2010</i>
Brasil	306.987	329.707	344.284	356.129	377.030	388.472	384.306	415.277
Residencial	76.162	78.470	82.644	85.784	89.885	94.746	100.776	107.215
Industrial	136.221	154.163	158.610	163.180	174.369	175.834	161.799	179.478
Comercial	47.531	49.686	53.035	55.369	58.647	61.813	65.255	69.170
Outros	47.073	47.389	49.995	51.796	54.129	56.079	56.477	59.414
<i>Crescimento (%)</i>	<i>2003</i>	<i>2004</i>	<i>2005</i>	<i>2006</i>	<i>2007</i>	<i>2008</i>	<i>2009</i>	<i>2010</i>
Brasil	4,7	7,4	4,4	3,4	5,9	3,0	-1,1	8,1
Residencial	4,7	3,0	5,3	3,8	4,8	5,4	6,4	6,4
Industrial	4,0	13,2	2,9	2,9	6,9	0,8	-8,0	10,9
Comercial	5,1	4,5	6,7	4,4	5,9	5,4	5,6	6,0
Outros	6,1	0,7	5,5	3,6	4,5	3,6	0,7	5,2

Fonte: Adaptado de EPE (2011)

O consumo de energia elétrica de edifícios comerciais ocorre, principalmente, devido aos sistemas de iluminação, equipamentos de escritório e sistemas de condicionamento de ar. Eles são responsáveis, respectivamente, por 24%, 15% e 48% do consumo das edificações, conforme mostrado nas Fig. 2.3 e 2.4. Os sistemas de

aquecimento, ventilação e condicionamento de ar (*Heating, Ventilation and Air Conditioning – HVAC*) representam o percentual de maior consumo de energia, sendo que são muitos os fatores que influenciam a operação e a eficiência energética de tais sistemas. Dentre eles pode-se citar: o próprio sistema, com suas características intrínsecas e seus modos de operação, o clima local, a arquitetura e os materiais de construção da edificação, bem como os parâmetros internos tais como densidade de ocupação e tipo de trabalho desenvolvido no ambiente condicionado (INATOMI; ABE; LEITE, 2006).

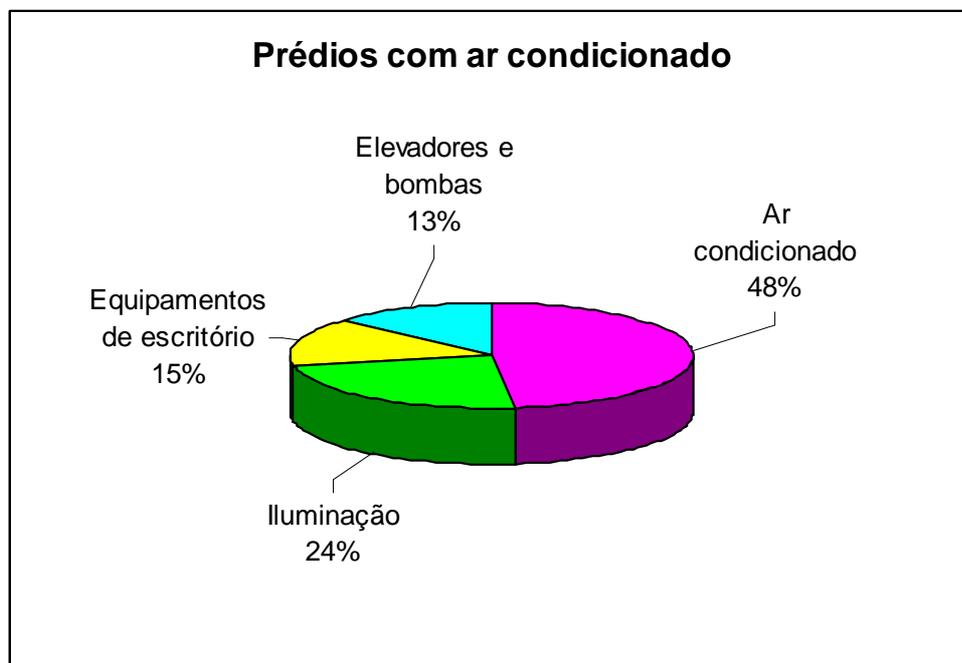


Figura 2.3 - Percentual de consumo dos equipamentos elétricos em prédios comerciais com sistema de condicionamento de ar

Fonte: Adaptado de PROCEL (2007)

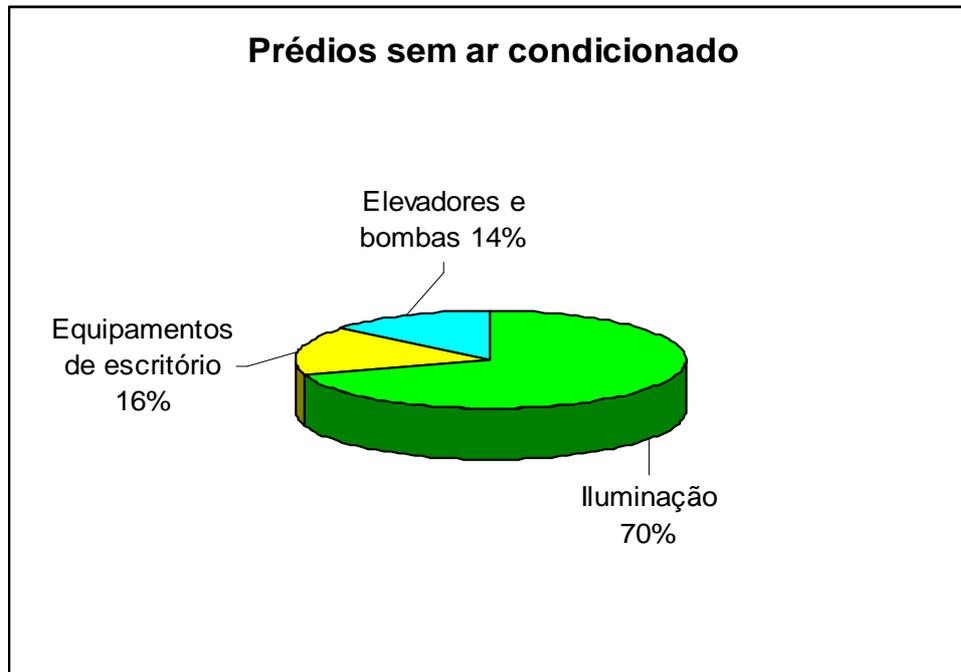


Figura 2.4 - Percentual de consumo dos equipamentos elétricos em prédios comerciais sem sistema de condicionamento de ar

Fonte: Adaptado de PROCEL (2007)

2.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

Desde os choques do petróleo na década de 70, ficou evidente que as reservas fósseis não são inesgotáveis e, pior, seu uso prejudica o meio ambiente. Frente a isso, iniciou-se um movimento com o objetivo de analisar equipamentos e hábitos de uso sob o ponto de vista da eficiência energética. As mudanças sugeridas se mostraram economicamente viáveis, uma vez que os custos de sua implantação eram menores que o custo da energia cujo uso evitavam. Estas medidas, que visavam à economia de energia, passaram a se chamar “medidas de eficiência energética – MEE” e, a partir delas, surgiram as empresas ESCOs - Empresas de Serviços de Eficiência Energética, responsáveis pela análise, sugestão e a implementação de MEE. Os recursos para manutenção destas empresas advinham do percentual de economia de energia conseguido pela adequação de novas alternativas para o uso final da energia. Contudo, a ausência inicial de financiamentos, de informação e de acesso a tecnologias, a falta de equipamentos de uso eficiente de energia e, principalmente, a falta de confiança no resultado das medidas se apresentaram como barreiras e impediram a disseminação das ideias de economia (PLANO NACIONAL DE ENERGIA 2030, 2007).

O desenvolvimento e fortalecimento de medidas de eficiência energética, aliados à necessidade de preservação dos recursos, evidenciaram as formas viáveis de economia em cada setor da atividade econômica brasileira, com foco na aplicação, custo, evolução, disseminação e resultados por uso final da energia. Dessa forma, foram introduzidos três cenários no estudo de potencial de economia. O cenário técnico busca a substituição de todos os usos da energia por equivalentes com tecnologias mais eficientes. O cenário econômico verifica a viabilidade de investimento para evitar o uso de energia antes de expandir o sistema, mantendo, assim, o foco nas variáveis de taxa de descontos e custo marginal. Já o cenário de mercado, realiza a análise das medidas que trazem redução de custos ao usuário, evidenciadas pela taxa de desconto praticada e pela tarifa de eletricidade. É importante ressaltar que estes cenários crescem continuamente, motivados pelo aparecimento de novas técnicas de uso mais eficiente de energia e consequente barateamento destas em função de seu aperfeiçoamento e economias de escala alcançadas pela sua maior penetração (PLANO NACIONAL DE ENERGIA 2030, 2007).

No ano de 2001, o Brasil enfrentou outra crise, desta vez oriunda do setor elétrico, a qual provocou um racionamento de energia elétrica e fez crescer em todo o país o sentimento da importância de economia desta fonte. A necessidade de um sistema elétrico confiável, o aumento nas perdas de energia e pressões ambientais intensificaram as ações de eficiência energética na geração, distribuição e no consumo final. A ameaça constante de blecaute no país reforçou a necessidade de novas medidas no campo do combate ao desperdício de energia. As novas tecnologias de eficiência energética estão hoje amplamente difundidas, sendo a questão central a identificação daquelas que irão ser mais eficazes e seguras em longo prazo. Com tal variedade de medidas propostas, os tomadores de decisão têm de optar por compensações nos setores ambiental, energético, financeiro e social, a fim de alcançar a melhor solução possível, que garanta a maximização da eficiência energética e satisfaça as necessidades do usuário final (SOLA; KOVALESKI, 2004; DIAKAKI *et al.*, 2008; RODRIGUES *et al.*, 2007).

O combate ao desperdício e a busca pelo uso eficiente das diversas formas de energia devem ser incentivados, visto que levam à economia de recursos, possibilitando a postergação de investimentos, preservando o meio ambiente e caracterizando-se como pré-requisito para alcançar a sustentabilidade, uma vez que é mais barato evitar o consumo de energia do que o investimento para gerá-la (NASPOLINI *et al.*, 2004; PARRIS; KATES, 2007; SÓRIA; FILIPINI, 2010).

No tocante ao desenvolvimento sustentável do setor energético, segundo diretrizes da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico - OECD é primordial atender às necessidades da demanda, obedecendo a critérios de meio ambiente sustentável, socialmente equitativo e economicamente viável. Desta forma, o desenvolvimento de fontes de energia renováveis e a adoção da eficiência energética são os instrumentos ideais para promover o desenvolvimento sustentável (MEDEIROS et al., 2011). A conscientização do uso mais eficiente dos recursos, envolvendo a restrição do uso da energia pelas sociedades e a adaptação dos estilos de vida, colabora para um menor consumo sem, no entanto, prejudicar o desenvolvimento das sociedades (MENKES, 2004). Sendo assim, uma edificação é mais eficiente energeticamente que outra quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia (PROCEL, 2007).

O uso de energia nas edificações sofreu mudanças no decorrer dos anos devido ao avanço tecnológico, aos padrões das edificações e aos estilos arquitetônicos. Outros fatores como equipamentos, ramo de atividade, comportamento dos usuários, efeitos das variações climáticas, somados a localização, orientação, configuração do prédio, tipo de material e controles, influenciam no uso final de energia (LAMBERTS *et al.*, 2000; FERNANDEZ, 2001). A utilização de iluminação natural, de entorno e de ventilação natural influenciam o uso de energia e possibilitam minimizar gastos. Cabe salientar que as trocas térmicas entre a edificação e o ambiente externo também influenciam na eficiência energética no local foco do estudo.

Economia de energia não significa apenas redução do custo final da fatura, mas uma atitude contra o desperdício. Os percentuais de consumo de energia poderiam ser reduzidos entre 30 a 50%, todavia, há desperdício por falta de um controle adequado, por falta de manutenção ou mau uso das instalações prediais (MASCARÓ; MASCARÓ, 1992).

Os fatos citados salientam a importância dos estudos sobre o consumo de energia elétrica em relação à iluminação, ar condicionado e demais equipamentos utilizados em uma edificação comercial, além da análise do conforto térmico do ambiente.

2.2.1 Revisão de Trabalhos Referentes à Eficiência Energética

Meier et al. (2002) afirmam que uma edificação é considerada eficiente termicamente quando o consumo desta é mínimo, mas o ambiente é ainda confortável

para os usuários. A eficiência energética de uma edificação também vai depender das trocas térmicas entre esta e o ambiente externo. Desta forma propuseram três critérios para avaliar edificações:

- a) equipamentos e materiais eficientes que estejam de acordo com o local e condições do ambiente;
- b) conforto aos usuários;
- c) consumo menor de energia quando comparado a uma outra semelhante.

Melo (2005) analisou o desempenho energético de um hotel localizado na cidade de Florianópolis, através do programa computacional *EnergyPlus*. Com a intenção de melhorar a eficiência energética do edifício, propôs algumas alternativas de *retrofit* com base nos usos finais de energia elétrica da edificação. Realizou também uma análise econômica destas alternativas utilizando o programa E2-Tarifas. O hotel, com área total de 3500 m², possui sessenta e cinco apartamentos distribuídos em onze pavimentos. Os quartos são climatizados com condicionadores de ar do tipo janela e a sala de reuniões, o bar, a diretoria e o hall são climatizados com aparelhos do tipo *split*. O aquecimento de água dos chuveiros e torneiras é realizado por uma caldeira elétrica com 54 kW de potência. Para calibrar o modelo inserido no programa *EnergyPlus*, analisou-se o histórico de consumo e demanda da edificação, podendo assim verificar se os dados estimados equivalem aos registrados no prédio, através da análise das contas de energia elétrica de novembro de 2004 a outubro de 2005. O uso final de energia elétrica do modelo calibrado demonstrou que 35% do consumo final do hotel estão concentrados no sistema de iluminação, 25% na caldeira, 24% no sistema de condicionamento de ar e 16% estão relacionados com os demais equipamentos. Com base nestes resultados, foram propostas as seguintes alternativas: a troca de lâmpadas fluorescentes de 40 W presentes nos quartos por lâmpadas de 32 W; a troca de aparelhos de condicionamento de ar do tipo janela e *splits* por um sistema de condicionamento de ar do tipo central de água gelada; a compra de um gerador de energia elétrica a diesel para operar em horário de ponta; e a instalação de painéis coletores solares acoplados à caldeira para reduzir a sua utilização. Conforme os resultados verificados, a única alternativa viável economicamente para o hotel foi em relação ao sistema de iluminação, economizando um total de 24.959 kWh anuais de energia elétrica. As demais alternativas também contribuiriam para economizar energia elétrica, porém demandariam investimentos altos e o retorno financeiro se daria em mais de 10 anos, tornando-se inviáveis do ponto de vista de custo.

Westphal e Lamberts (2006) analisaram o desempenho energético de duas tipologias arquitetônicas: um edifício de escritório de cinco pavimentos e uma loja de departamento de um pavimento, as quais foram modeladas para avaliar distintas condições de transmitância térmica de paredes e coberturas. Os autores exploraram diversos parâmetros como: carga interna instalada, padrões de uso, absorvância das superfícies externas, percentual da área de janela nas fachadas, clima, entre outros, sempre analisando o efeito destas combinações em relação ao consumo de energia elétrica da edificação. Foram simulados 23.040 casos, através do programa *EnergyPlus*, os quais indicaram que, dependendo da combinação entre os diversos parâmetros, estes podem originar uma redução do consumo de energia elétrica. Foi observado que, para algumas cidades analisadas, o aumento da transmitância térmica das paredes do envelope, combinado com uma baixa absorvância térmica, proporcionam uma economia considerável de energia elétrica.

O trabalho em questão mostra que o clima, a absorvância dos componentes opacos, a carga interna e o padrão de uso são parâmetros fundamentais para a construção de edificações mais eficientes. A utilização de isolantes térmicos no envelope da edificação para originar uma menor transmitância não conduz a uma edificação mais eficiente.

Serafin (2010) verificou e quantificou a variação na demanda e no consumo de energia elétrica em uma edificação comercial, sede da Eletrosul Centrais Elétricas S.A., localizada em Florianópolis - SC. A metodologia aplicada considerou a análise das faturas da concessionária de janeiro de 2003 até setembro de 2010. Foram realizados registros de demanda, através do relatório de memória de massa em intervalos de 15 minutos, analisando a interferência do clima e de rotinas de ocupação. Também foram efetuadas estimativas e medições diretas durante o ano de 2010 no sistema de climatização, de iluminação e de equipamentos de maior demanda. Foi verificado que, após a reforma realizada em 2007, cujo principal objetivo foi buscar alternativas de eficiência energética através de *retrofit*, houve uma redução na demanda de 57% para o sistema de iluminação interna e 75% para o sistema de climatização. Estes valores foram obtidos através da instalação de sensores de luz próximos às janelas, substituição de lâmpadas fluorescentes por luminárias mais reflexivas e que proporcionam melhor aproveitamento do fluxo luminoso. O sistema de ar condicionado foi reavaliado e adaptado para atender a demanda de conforto térmico da edificação, além da instalação de torres de resfriamento de água permitindo maior eficiência ao sistema. Também foi

verificado que o uso correto de proteção solar (*brises*), colaborou para a diminuição do consumo de eletricidade pelo sistema de iluminação. Além disso, a correta avaliação das necessidades de demanda favoreceu uma adequação nos valores contratados tanto para o período seco como para o úmido, possibilitando significativa redução anual nos custos.

Pozza (2011) desenvolveu um estudo com o objetivo de analisar o comportamento térmico e energético de uma edificação residencial, utilizando o programa de simulação *EnergyPlus*, determinando o consumo anual de energia elétrica de toda a edificação, bem como o consumo do sistema HVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado) do tipo *split* com ciclo reverso. O sistema HVAC existente representa 42% do consumo total da edificação, sendo que o aquecimento totaliza 89% do consumo do sistema HVAC, uma vez que os ambientes avaliados apresentaram um percentual de 7,6 a 33% das horas de operação do sistema HVAC fora da zona de conforto térmico de inverno, conforme a ASHRAE Standard 55-2004, considerando horas operativas.

A partir das avaliações realizadas, foram propostas modificações na envoltória e o uso de um sistema de ar condicionado com tecnologia VRF (fluxo de refrigerante variável) com o objetivo de reduzir o consumo de energia pelo atual sistema HVAC, bem como o número de horas desconfortáveis causadas pelo frio. Alternativas de utilização de vidros duplos com alta transmissividade, superfícies com cores de maior absorvidade solar, lâ de vidro nas paredes externas e internas duplas e placas de EPS (Poliestireno Expandido) no piso da edificação apresentaram bons resultados, reduzindo o consumo total de energia elétrica em 18,2% e o consumo do sistema HVAC passou a representar 29,6% do total de energia da residência. Conforme o autor, as alterações propostas se apresentaram eficazes para a edificação analisada, na qual a necessidade de aquecimento provoca um consumo elevado de energia, mas, as mesmas alterações nos parâmetros construtivos aumentam o consumo de energia necessária para a refrigeração no verão, pois dificultam a perda de calor para o ambiente. Desta forma, é fundamental a avaliação de cada edificação por meio de simulação computacional a fim de encontrar alternativas ideais para cada caso.

A partir das adequações na envoltória, foram avaliadas diferentes máquinas com tecnologia VRF que atendessem as necessidades de carga térmica. Atingiu-se resultados de redução de consumo em 32,85% sobre o sistema HVAC e uma economia de 9,25% sobre o consumo total de energia elétrica da edificação quando comparado ao sistema de condicionamento de ar tipo *split*. Com isso, o número de horas fora das zonas de conforto

da ASHRAE atingiu percentual inferior aos 4% estabelecidos pela norma. O maior índice de economia do sistema VRF foi notado nos meses de inverno e meia estação. Em meses de verão, os valores de consumo tanto do sistema VRF como do tipo *split* são semelhantes, visto a baixa necessidade de refrigeração da edificação. Contudo, se fosse avaliada uma edificação comercial que, por característica, possui elevada carga térmica interna, o consumo de refrigeração poderia ser superior ao de aquecimento e maiores seriam as economias com a utilização do sistema VRF, visto que o desempenho em refrigeração é superior ao desempenho em modo de aquecimento.

Dombrosky (2012) realizou um estudo do sistema de climatização do aeroporto Salgado Filho em Porto Alegre com o objetivo de determinar e mensurar as oportunidades de redução dos custos de operação através da operacionalização do tanque de termoacumulação existente na planta que, por questões diversas, na época da realização do estudo estava fora de operação. Tanto a edificação do terminal, quanto os equipamentos integrantes da planta foram modelados e simulados no programa *EnergyPlus*, juntamente com o arquivo climático da cidade de Porto Alegre. Através das simulações, o autor confirmou as previsões de que o sistema de climatização trabalhava com custos superiores àqueles que poderiam ser obtidos caso o sistema de termoacumulação estivesse em operação. Isso porque o objetivo deste projeto, ora desativado, era que as unidades resfriadoras fossem mantidas desligadas durante o horário de ponta, o que colaboraria para a redução do consumo e de demanda energética do terminal durante esses horários.

A redução da demanda e do consumo de energia em horário de ponta são as parcelas que apresentaram maior diminuição dos custos de operação do sistema de climatização do aeroporto, com percentuais de 77% e 18%, respectivamente, sobre todas as economias obtidas nas faturas de energia após o uso da termoacumulação. Além disso, constatou-se que a participação da termoacumulação possibilitaria também uma redução no consumo energético dos equipamentos da planta de climatização, através de estratégias de operação mais eficientes, a exemplo da operação dos *chillers* a plena carga e o deslocamento de demanda para atendimento em horário noturno, aliados à estratégia de utilizar todo o potencial dos ventiladores das torres de resfriamento para redução da temperatura de condensação.

Considerando os meses de verão, nos quais o sistema de climatização é utilizado com maior intensidade, as simulações apresentaram uma redução média de 11% no consumo referente aos equipamentos de climatização. Se a este valor fossem acrescidas

as economias oriundas da redução de demanda e consumo em horário de ponta dos equipamentos de climatização, o percentual total de economia sobre a fatura de energia do aeroporto com o uso da termoacumulação atingiria cerca de 30%.

Através de simulações, foi avaliado o efeito da utilização de diferentes estratégias para carga e descarga do tanque de água gelada. Primeiramente, foi verificado o efeito de fazer com que o tanque não apenas atendesse a carga nos horários de ponta, mas antecipasse sua descarga visando proporcionar uma participação mais efetiva no circuito de água gelada. Como segunda alternativa, buscou-se uma redução no consumo energético dos *chillers* para carga do tanque, priorizando os regimes de carga das máquinas a 25% e 50% da sua capacidade total, regime no qual a eficiência das unidades resfriadoras alcança seu ponto máximo devido à maior eficiência de troca térmica no condensador. Contudo, ambos os casos não apresentaram ganhos significativos.

Outro benefício observado se refere à ampliação da capacidade frigorífica proporcionada ao sistema de climatização, colaborando para o atendimento da demanda originada do constante aumento na movimentação de passageiros da aviação civil, além de praticamente eliminar a necessidade de intervenções para aumento da capacidade de refrigeração da planta até o momento em que o terminal sofra ampliações mais significativas que demandem adequações no sistema. Através das simulações realizadas, observou-se um possível incremento de cerca de 30% na capacidade de refrigeração da planta atual com o uso do tanque de termoacumulação.

2.3 CONFORTO TÉRMICO

Conforto térmico é considerado uma sensação complexa, que não depende somente de parâmetros exteriores ao indivíduo, mas também de suas condições intrínsecas. Segundo a ASHRAE (1993), o conforto térmico é um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa. O conforto humano pode ser dividido em vários subdomínios, dos quais se pode destacar o conforto térmico, visual e ergonômico, qualidade do ar interior e o ruído. O conforto térmico no interior das edificações é fundamental para o bem estar dos ocupantes, uma vez que reflete em maior e melhor produtividade das atividades desempenhadas no local (GRADE; LIMA, 2001).

2.3.1 Variáveis de Conforto Térmico

O calor é dissipado através de mecanismos de transferência de calor entre o corpo e o ambiente envolvendo trocas térmicas sensíveis (convecção, radiação e condução) e trocas térmicas latentes através da evaporação. As principais variáveis que influenciam na avaliação do conforto térmico são: metabolismo gerado pela atividade física, resistência térmica das vestimentas (classificadas como pessoais ou subjetivas por não dependerem do ambiente), temperatura do ar, temperatura média radiante, umidade relativa e velocidade do ar, denominadas variáveis ambientais. Outros fatores, a exemplo da idade, sexo, raça, hábitos alimentares, peso, altura, dentre outros, também exercem influência nas condições de conforto pessoal (LAMBERTS *et al.*, 2011).

a) *metabolismo:*

O homem é um animal homeotérmico, pois seu organismo mantém constante a temperatura corporal. Essa temperatura é da ordem de 37°C, podendo variar entre 36,1°C a 37,2°C, sendo 32°C o limite inferior e 42°C o limite superior para sobrevivência. Dessa forma, o organismo humano pode ser comparado com uma máquina térmica, pois sua energia é obtida através de fenômenos térmicos. A energia térmica produzida pelo organismo humano provém de reações químicas internas, sendo importante a combinação do carbono, introduzido no organismo sob a forma de alimentos, com o oxigênio, extraído do ar pela respiração. Esse processo de produção de energia interna, a partir de elementos combustíveis orgânicos, denomina-se metabolismo (FROTA; SCHIFFER, 2003).

Da energia obtida pelo metabolismo, cerca de 20% são utilizados e o restante, 80%, são liberados sob a forma de calor. Esta constatação mostra a importância de se proporcionar ao corpo as mais favoráveis formas de dissipação de energia sem lhe causar desconforto. Entretanto, em clima quente a tarefa é mais complexa (FROTA *et al.*, 2003, LAMBERTS *et al.*, 2005).

Conforme a atividade executada pelo ser humano, há maior ou menor necessidade de dissipação do calor produzido. A Tab 2.2 apresenta dados relativos à taxa de calor dissipado pelo corpo em função da atividade do indivíduo. O metabolismo pode ser expresso em W/m² de pele ou em Met, unidade do metabolismo cujo valor unitário corresponde a uma pessoa relaxada. Assim, 1 Met equivale a 58,15 W/m² de área de superfície corporal.

Tabela 2.2 - Taxa metabólica para diferentes atividades segundo a ISO 7730 (1994)

Atividade	Metabolismo (W/m ²)
Reclinado	46
Sentado, relaxado	58
Atividade sedentária (escritório, escola).	70
Fazer compras, atividades laboratoriais.	93
Trabalhos domésticos.	116
Caminhando em local plano a 2 km/h	110
Caminhando em local plano a 3 km/h	140
Caminhando em local plano a 4 km/h	165
Caminhando em local plano a 5 km/h	200

Fonte: Adaptado de ISO 7730 (1994)

b) *vestimenta:*

A vestimenta equivale a uma resistência térmica interposta entre o corpo e o meio, ou seja, ela representa uma barreira para as trocas de calor por convecção. Quanto maior a quantidade de roupas, maior o isolamento em torno do corpo e menores serão as perdas de calor visto que a vestimenta funciona como isolante térmico, pois mantém junto ao corpo uma camada de ar mais aquecido ou menos aquecido, se for mais ou menos isolante, apresentando maior ou menor ajuste ao corpo e correspondente proporção do corpo que cobre (LAMBERTS *et al.*, 2011; MARTINEZ, 2009).

O uso de vestimenta reduz o ganho de calor relativo à radiação solar, as perdas em condições de baixo teor de umidade e o efeito refrigerador do suor, além de diminuir a sensibilidade do corpo às variações de temperatura e velocidade do ar.

A resistência térmica das vestimentas depende do tipo do tecido, da fibra, do ajuste ao corpo, e deve ser medida através das trocas secas relativas a quem usa. Sua unidade é o *clo*, originada de *clothes* (roupa) e seu valor é de 0,155 m² °C/W, o que equivale a um terno completo. Para determinar a resistência térmica das vestimentas utiliza-se a Eq. 2.1 (WALLAUER, 2003):

$$I_{cl} = 0,835 \sum I_{clu} + 0,161 \quad (2.1)$$

onde I_{cl} é a resistência térmica das vestimentas (*clo*) e I_{clu} é a resistência térmica parcial dos componentes das vestimentas (*clo*).

A Tab. 2.3 apresenta o índice de resistência térmica (I_{cl}) para as principais peças de roupa, sendo que o índice de resistência térmica (I) para a vestimenta de uma pessoa será segundo a ISO 7730 (1994), o somatório de I_{cl} (LAMBERTS *et al.*, 2011).

Tabela 2.3 - Índice de resistência térmica para vestimentas segundo ISO 7730 (1994).

Vestimenta	Índice de resistência térmica - I_{cl} (clo)
Meia calça	0,10
Meia fina	0,03
Meia grossa	0,05
Calcinha e sutiã	0,03
Cueca	0,03
Cuecão longo	0,10
Camiseta de baixo	0,09
Camisa de baixo manga comprida	0,12
Camisa manga curta	0,15
Camisa fina manga comprida	0,20
Camisa manga comprida	0,25
Camisa flanela manga comprida	0,30
Blusa com manga comprida	0,15
Saia grossa	0,25
Vestido leve	0,15
Vestido grosso manga comprida	0,40
Jaqueta	0,35
Calça fina	0,20
Calça média	0,25
Calça flanela	0,28
Sapatos	0,04

Fonte: Adpatado de ISO 7730 (1994)

Apesar do trabalho de avaliação energética de edificações possuir características puramente técnicas, o fator humano é determinante para a análise, pois o usuário necessita que o ambiente seja confortável. Na realidade, a tentativa é tornar a edificação o mais eficiente possível, sem que comprometa com isso o conforto ambiental necessário para sua ocupação e operação. Para tanto, é necessário verificar o quanto as variáveis ambientais influenciam no conforto e no rendimento do trabalho ou atividade realizada por um grupo de pessoas (PESSOA *et al.*, 2009). Estudos comprovaram o aparecimento

de manifestações fisiológicas, tais como dor de cabeça, fadiga, alteração sensorial, depressão intelectual, indiferença, sono e perda de memória, como reflexo das características negativas dos ambientes (PESSOA *et al.*, 2009; BATIZ *et al.*, 2008).

c) *temperatura radiante média:*

A temperatura radiante média representa a média ponderada das temperaturas superficiais do ambiente. Ela também pode ser definida como a temperatura uniforme de um ambiente no qual a transferência de calor por radiação do corpo de um indivíduo é igual à transferência de calor radiante em um ambiente real não uniforme.

Seu cálculo pode ser feito através da determinação da temperatura de termômetro de globo e da temperatura do ar. As Eq. 2.2 e 2.3 apresentam a sua forma de determinação para convecção natural e forçada, respectivamente (LAMBERTS *et al.*, 2011).

Convecção natural

$$t_r = \sqrt[4]{(t_g + 273)^4} + 0,4 \cdot 10^8 \sqrt[4]{|t_g - t_a|} \cdot (t_g - t_a) - 273 \quad (2.2)$$

Convecção forçada

$$t_r = \left(\sqrt[4]{(t_g + 273)^4} + 2,5 \cdot 10^8 \cdot V^{0,6} \cdot (t_g - t_a) - 273 \right) \quad (2.3)$$

onde t_g é a temperatura de termômetro de globo; t_a é a temperatura do ar e V é a velocidade do ar.

Torna-se necessário definir o coeficiente de troca de calor por convecção através das Eq. 2.4 e 2.5, adotando a temperatura radiante média para a forma de convecção que apresentar o maior coeficiente de troca de calor.

Convecção natural

$$h_{cg} = 1,4 \cdot \sqrt[4]{\frac{\Delta T}{D}} \quad (2.4)$$

Convecção forçada

$$h_{cg} = 6,3 \frac{V^{0,6}}{D^{0,4}} \quad (2.5)$$

onde h_{cg} é o coeficiente de troca de calor por convecção do globo; ΔT é a diferença de temperatura ($t_g - t_a$); D é o diâmetro do globo (normalmente 150 mm) e V é a velocidade do ar.

d) *temperatura do ar:*

A temperatura do ar é a principal variável do conforto térmico. A sensação de conforto baseia-se na perda de calor do corpo pelo diferencial de temperatura entre a pele e o ar. O calor é produzido pelo corpo através do metabolismo e suas perdas são menores quando a temperatura do ar está alta ou maiores quando a temperatura está mais baixa.

A diferença de temperatura entre dois pontos no ambiente provoca a movimentação do ar denominada de convecção natural: a parte mais quente torna-se leve e sobe enquanto a mais fria, desce, proporcionando uma sensação de resfriamento no ambiente.

e) *velocidade do ar:*

A movimentação do ar ocorre em ambientes internos sem necessariamente a ação direta do vento. O ar se desloca pela diferença de temperatura no ambiente, pelo processo de convecção natural. Quando o ar se desloca por meios mecânicos, a exemplo de um ventilador, o coeficiente de convecção aumenta, aumentando a sensação de perda de calor caracterizando o processo de convecção forçada. O deslocamento do ar também aumenta os efeitos da evaporação no corpo humano, retirando a água em contato com a pele com mais eficiência reduzindo, desta forma, a sensação de calor (LAMBERTS *et al.*, 2011).

f) *umidade relativa do ar:*

É aproximadamente a relação entre a quantidade de vapor d'água contida no ar e a quantidade de vapor d'água que o ar teria se estivesse saturado na mesma temperatura.

À medida que a temperatura do meio se eleva, dificultando as perdas por convecção e radiação, o organismo aumenta sua dissipação de calor por evaporação. Quanto maior a umidade relativa, menor a eficiência da evaporação na remoção do calor. Isto comprova a necessidade e importância de se ter uma ventilação adequada nos ambientes.

2.3.2 Índices de Conforto Térmico

Diferentes índices de conforto térmico foram desenvolvidos fixando um tipo de atividade e a vestimenta do indivíduo para, desta forma, relacionar as variáveis do ambiente e reunir as diversas condições ambientais que proporcionam respostas iguais por parte dos indivíduos. Estes índices podem ser adaptados a dois grupos: os que estão baseados no balanço de calor, sendo o voto médio previsto (PMV - *Predicted Mean Vote*), o mais conhecido e os que apresentam uma abordagem adaptativa.

O PMV, desenvolvido por Fanger (1972) e utilizado pela ISO 7730, analisa a sensação de conforto em função das seis variáveis e as relaciona com a porcentagem de pessoas insatisfeitas (PPD - *Predicted Percentage of Dissatisfied*). A Tab. 2.4 apresenta a escala de variáveis analisadas e que permitem a avaliação do voto de um grande grupo de pessoas.

Tabela 2.4 - Escala térmica de Fanger

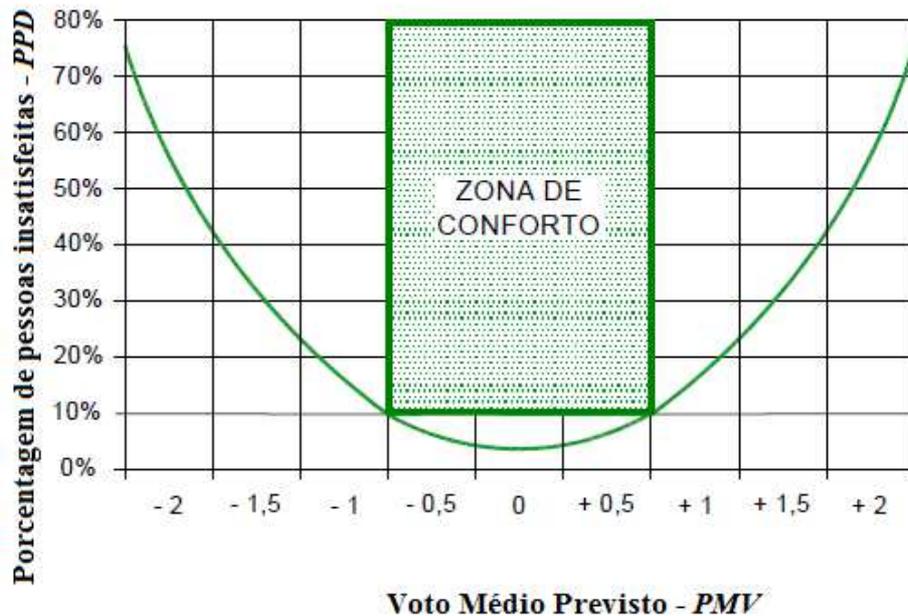
Escala	Sensação
+3	Muito quente
+2	Quente
+1	Levemente quente
0	Confortável
-1	Levemente frio
-2	Frio
-3	Muito frio

Fonte: Adaptado de ASHRAE (2001)

Esse índice deve ser utilizado apenas para valores entre -2 e +2, pois acima destes limites há aproximadamente mais de 80% das pessoas insatisfeitas (ISO 7730, 1994). Devido às diferenças individuais, é difícil determinar um ambiente térmico que satisfaça a todos, uma vez que sempre haverá uma porcentagem de insatisfeitos. Desta

forma, a ISO 7730 considera que um ambiente é considerado termicamente aceitável quando $PPD < 10\%$, ou seja, $-0,5 < PMV < +0,5$. Na Fig. 2.5 é possível visualizar a zona de conforto e a curva originada, analisando os índices representativos da sensação térmica (PMV) com o percentual de pessoas insatisfeitas (PPD).

Figura 2.5 - Relação entre PPD e PMV



Fonte: Lamberts *et al.* (2011)

A teoria adaptativa considera fatores relacionados à física e a fisiologia e os interage com a percepção térmica. Estes estudos têm como base conceitos de aclimação, sendo que os fatores considerados podem incluir características inerentes à demografia (gênero, idade, classe social), contexto (composição da edificação, estação, clima) e cognição (atitudes, preferências e expectativas) (LAMBERTS *et al.*, 2011).

2.4 CARGA TÉRMICA EM EDIFICAÇÕES

O cálculo da transferência de calor possibilita estimar a capacidade dos diversos componentes do sistema necessários para manter o ambiente em condições de conforto.

A estimativa da carga térmica de um ambiente deve levar em consideração fatores internos e externos que influenciam nas variações de temperatura e umidade do local analisado. Propriedades físicas dos materiais do envoltório, ventilação, infiltração, insolação, dados geoclimáticos como altitude, localização geográfica e temperatura são

alguns fatores externos. Internamente, o número de ocupantes, tipo de atividade desenvolvida, dissipação térmica de equipamentos e iluminação são os principais fatores que interferem no percentual de carga térmica de um ambiente. Desta forma, a carga térmica é a soma dos ganhos de calor interno e externo. Este cálculo é aproximado, uma vez que o tipo de vestimenta dos ocupantes, o metabolismo individual, as condições de umidade do ar, a abertura ou não de janelas, dentre outros fatores, colaboram para alterar os índices de carga térmica. Essa interferência pode ser minimizada pelo uso de equipamentos de condicionamento de ar.

2.4.1 Geração Interna

A energia no interior de uma edificação depende da função da edificação e resulta de:

- a) processos envolvendo uso final da energia como: iluminação artificial, aparelhos e equipamentos utilizados na execução das diversas atividades;
- b) condições de ocupação, número de ocupantes, horário de ocupação, atividade exercida.

As energias térmicas oriundas dessas fontes são fundamentais para se determinar o desempenho energético das edificações.

2.4.1.1 Iluminação

O objetivo dos sistemas de iluminação é proporcionar um ambiente visual adequado que forneça a luz mínima necessária para a realização de tarefas visuais executadas por ocupantes de postos de trabalho. Esta iluminação deve atender às exigências do usuário apenas nos momentos em que se realiza a tarefa visual, normalmente determinada pelo período de ocupação do ambiente construído. Para que se atinja esse objetivo, é necessário o uso correto da luz, através da otimização dos níveis de iluminação, do índice de reprodução de cor e da temperatura de cor da fonte de luz, das taxas de iluminâncias e contrastes. Os critérios gerais de desempenho de iluminação devem seguir a norma, evitar a incidência direta do sol e alcançar uniformidade da iluminação. O nível ótimo de iluminância não é necessariamente o mais alto, mas aquele que possibilita a melhor visão sem causar cansaço visual (LAMBERTS et al., 2005).

2.4.1.2 Equipamentos

Todos os equipamentos de escritório introduzem nos ambientes quantidades significativas de calor. Esse ganho pode, muitas vezes, ser reduzido por alteração do estado de funcionamento do equipamento: em *stand by* ou em estado de economia, ambos não só consomem menos energia, como também geram menos calor no ambiente (OLIVEIRA; CRAVEIRO, 2007).

2.4.1.3 Ocupação

Para diferentes atividades, o corpo humano responde com uma atividade metabólica diferente e, muitas vezes, este ganho, quer sensível, quer latente, constitui grande parte da fração dos ganhos internos de calor em edificações. Mesmo para ocupações de pouca duração, o calor extra introduzido pelas pessoas no ambiente é significativo (OLIVEIRA; CRAVEIRO, 2007).

2.4.2 Radiação Solar

Constantemente a Terra recebe energia oriunda do Sol na forma de ondas eletromagnéticas, chamada de radiação solar, a qual se constitui como contribuinte para o ganho térmico em edificações. Desta radiação:

- a) parte é diretamente emitida para a superfície da Terra (radiação direta);
- b) parte é absorvida e distribuída por partículas contidas na atmosfera (radiação difusa);
- c) parte retorna ao espaço, por reflexão ou após absorção e reemissão pela atmosfera.

A radiação solar na superfície terrestre é um fator importante na determinação das condições climáticas e compreende um espectro com a seguinte composição aproximada:

- a) 1% a 5% de ultravioleta (UV);
- b) 41% a 45% de luz visível (LV);
- c) 52% a 60% de infravermelho (IV).

A parcela de UV, comprimento de onda entre 290 nm e 380 nm, não representa fonte de calor ou luz, mas necessita de cuidados quando se trata de sua aplicação diretamente sobre o corpo humano. A radiação na faixa de comprimento de onda de 320 a 380 nm atravessa a grande maioria dos tipos de vidros. Nesta faixa ocorre fluorescência ou reação fotoquímica em certos materiais.

A radiação solar com comprimento de onda entre 380 e 760 nm é perceptível ao olho humano na forma de luz de modo que garante as condições de iluminação natural dos ambientes.

Comprimentos de onda superiores a 760 nm caracterizam radiações infravermelhas e representam fonte de calor. Podem ser emitidas pelos corpos aquecidos pela radiação solar, a exemplo do entorno das edificações. A energia radiante que incide sobre um corpo opaco é em parte absorvida e em parte refletida, conforme esquema mostrado na Fig. 2.6. A energia radiante absorvida se transforma em energia térmica ou calor e a refletida não sofre modificação. A radiação solar incidente em corpos opacos pode ser calculada através da Eq. 2.6 (LAMBERTS et al., 2005):

$$RS = (\alpha_s RS) + (\rho_s RS) \quad (2.6)$$

onde RS é a radiação solar incidente, α_s é a absortividade solar e ρ_s é a refletividade solar.

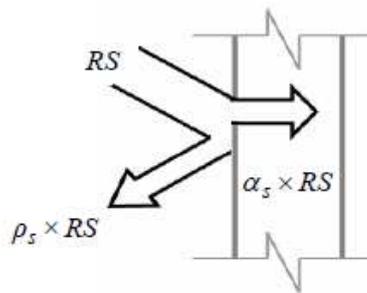


Figura 2.6 - Radiação solar incidente em um corpo opaco

Fonte: Adaptado de Lamberts *et al.* (2005)

Sobre um corpo transparente, a energia incidente é absorvida, refletida e transmitida, conforme a Fig. 2.7. Um corpo, ao receber energia radiante, reage seletivamente, o que significa que a quantidade de energia que absorve, reflete ou transmite depende do comprimento de onda do raio incidente. Com o vidro acontece um fenômeno similar, conforme apresentado na Fig. 2.8. A radiação solar incidente em corpos transparentes pode ser calculada através da Eq. 2.7 (LAMBERTS *et al.*, 2005):

$$RS = (\alpha_s RS) + (\rho_s RS) + (\tau_s RS) \quad (2.7)$$

onde τ_s é a transmissividade solar do vidro.

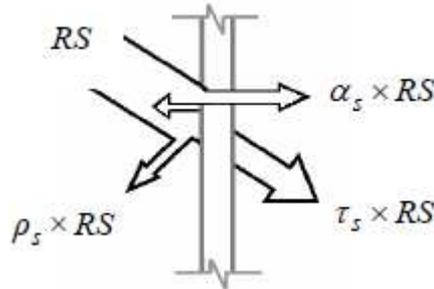


Figura 2.7 - Radiação solar incidente em um corpo transparente

Fonte: Adaptado de Lamberts *et al.* (2005)

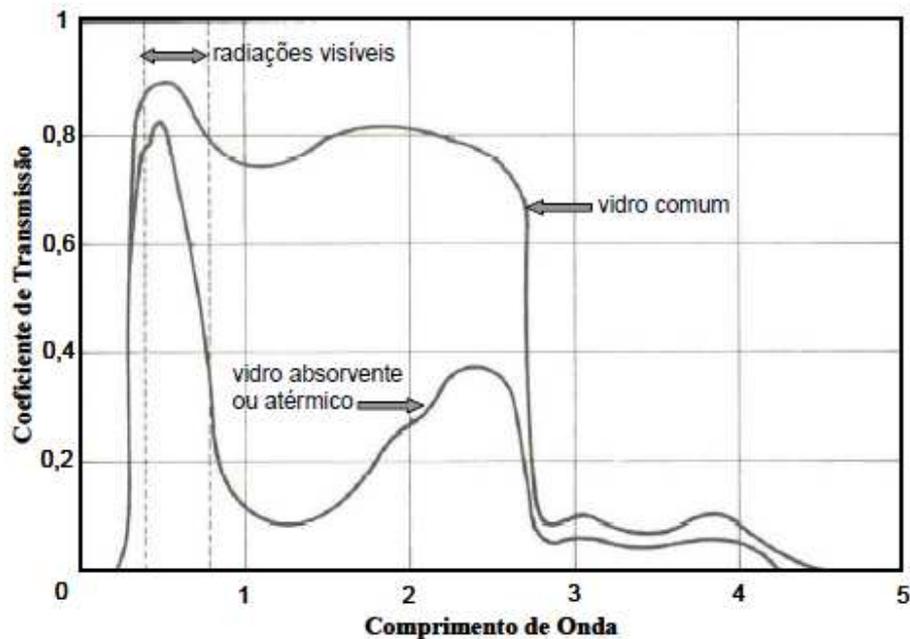


Figura 2.8 - Comportamento de alguns vidros frente à energia radiante

Fonte: Adaptado de Lamberts *et al.* (2005)

2.4.3 Infiltração e Renovação de Ar Externo

A ventilação de um ambiente se caracteriza pela troca de ar interno por ar externo e pode ser realizada de diferentes formas: natural, através da diferença de pressão causada pelo vento ou pela diferença de temperatura e artificial, através do uso de equipamentos. Os principais objetivos da ventilação visam manter o ambiente livre de impurezas fornecendo oxigênio e reduzindo gás carbônico, remover o excesso de calor

acumulado no interior da edificação produzido por pessoas e equipamentos, facilitar as trocas térmicas do corpo humano com o meio ambiente e remover o excesso de vapor d'água existente no ar interno evitando a condensação superficial.

A ventilação natural apresenta-se como ponto chave para a obtenção de importantes economias energéticas na edificação, na medida em que, ao manter a edificação com uma temperatura interna confortável, evita-se o uso de sistemas mecânicos. A ventilação natural é uma das estratégias bioclimáticas com grande potencial de adoção em projetos em boa parte do país.

Para que a ventilação seja uma estratégia de projeto efetiva, a concentração de poluentes externos deve ser menor que a dos poluentes internos; a temperatura externa deve estar dentro dos limites de conforto e a ventilação natural não deve causar outros problemas como ruídos ou falta de privacidade (LAMBERTS *et al.*, 2005).

Para garantir conforto térmico, recorrer à climatização natural é o melhor recurso do ponto de vista econômico, porém só pode ser aproveitado com todo seu potencial quando a construção arquitetônica é realizada atendendo a determinadas condições técnicas. Na maioria das instalações, não é possível um aproveitamento total da climatização natural, tornando-se necessário recorrer à climatização artificial (MARTINS, 2008).

O desempenho energético do sistema de condicionamento ambiental está diretamente relacionado ao clima, às características construtivas, à ocupação e ao tipo de sistema de ar condicionado. Há uma complexa interação destes itens no espaço e no tempo, o que torna dinâmico o funcionamento do sistema devido à multiplicidade das perturbações ambientais que ocorrem entre a edificação, a instalação e os usuários. O conhecimento dessas flutuações permite determinar o desempenho energético da edificação e a obtenção do conforto térmico. Ademais, o desempenho está ligado às trocas de calor de uma edificação com o meio ambiente, dependendo, assim, dos parâmetros meteorológicos do local e das condições de ocupação e de operação da edificação (SANTOS, 2002).

Conforme a NBR 16401 (2008) – Qualidade do ar interior - a vazão eficaz de ar exterior V_{ef} é considerada como constituída pela soma de duas partes, avaliadas separadamente: a vazão relacionada às pessoas (admitindo pessoas adaptadas ao recinto) e a vazão relacionada à área ocupada, conforme a Eq. 2.8.

$$V_{ef} = P_z F_p + A_z F_a \quad (2.8)$$

onde F_p é a vazão por pessoa, F_a é vazão por área útil ocupada, P_z é o número máximo de pessoas na zona de ventilação e A_z é a área útil ocupada pelas pessoas.

Os valores adotados para F_p e F_a , referentes a edifícios de escritórios, estão estipulados na Tab. 2.5.

Tabela 2.5 - Vazão eficaz mínima de ar exterior para ventilação

Local	D pessoas/100/m ²	Nível 1		Nível 2		Nível 3		Exaustão mecânica L/(sm ²)
		Fp L/s	Fa L/(sm ²)	Fp L/s	Fa L/(sm ²)	Fp L/s	Fa L/(sm ²)	
Edifícios de escritórios								
Hall do edifício, recepção.	10	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	-
Escritórios diretoria	6	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	-
Escritórios com baixa densidade	11	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	-
Escritórios com média densidade	14	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	-
Escritórios com alta densidade	20	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	-
Sala de reunião	50	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	-
CPD (exceto impressoras)	4	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	-
Sala impressoras, copiadoras.	-	-	-	-	-	-	-	2,5
Sala digitação	60	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	-
"Call center"	60	3,8	0,6	4,8	0,8	5,7	0,9	-

Fonte: Adaptado de ABNT/CB-55 – NBR 16401 Qualidade do ar interior

2.5 SIMULAÇÃO DE EDIFICAÇÕES

A simulação computacional possibilita a identificação do efeito de cada fator ou parâmetro isoladamente, o que nem sempre é possível em um caso real. A utilização de ferramentas computacionais pode ocorrer tanto na fase de projeto como durante a construção da edificação, fornecendo vantagens e a possibilidade de testar soluções mais eficientes sem a necessidade de intervenção na edificação. Além disso, a facilidade de manipulação das variáveis envolvidas na edificação, associada ao baixo custo, à redução do tempo de simulação e à avaliação do impacto energético, devido à implementação de oportunidades levantadas em campo para aplicação de “*retrofit*”, contribuem ainda mais para uma maior utilização dos programas computacionais (RAMOS, 2007; CAMPOS *et al.*, 2006).

2.5.1 Programa *EnergyPlus*

O programa computacional de simulação dinâmica *EnergyPlus* foi criado a partir de dois programas de simulação energética, BLAST e DOE-2. Ele possui estrutura modular, é escrito na linguagem Fortran 90, bem organizado para facilitar a adição de rotinas, módulos e a comunicação com outros programas. A utilização do programa é feita regularmente e disponibilizada gratuitamente pela rede mundial de computadores. Como em toda simulação numérica, é necessário o confronto das respostas computacionais com os resultados experimentais obtidos no ambiente analisado. Como é um programa de caráter científico, ao desenvolvê-lo não houve preocupação com a interface, sendo que seus dados de entrada e saída são simplesmente textos em ASCII. Além disso, o programa aceita qualquer valor para os dados de entrada, exceto em alguns parâmetros que têm limites de máximo e mínimo, e não faz nenhuma análise crítica sobre os resultados obtidos. Por isso, é necessário dar atenção especial aos dados de entrada inseridos nos arquivos de extensão e aos dados de saída (POZZA, 2011).

2.5.1.1 Características do Programa *EnergyPlus*

O programa *EnergyPlus* funciona seguindo a filosofia de gerenciador exercendo controle sobre os diversos subprogramas. Ele cria “links” entre os módulos e estes só são acessados mediante comando dado em seu gerenciador. Com a descrição do prédio feita pelo usuário, a partir da perspectiva da constituição física da edificação e sistemas mecânicos associados, o *EnergyPlus* calcula as cargas térmicas de refrigeração e de aquecimento necessárias para manter um adequado controle térmico, consumo de energia elétrica dos equipamentos da edificação e diversos outros detalhes que são necessários com o objetivo de verificar se a simulação está sendo executada de forma aceitável e mais próxima possível da condição real.

As principais características do *EnergyPlus*, que permitem ao usuário ter a ideia da vasta gama de aplicabilidade do programa são relacionadas a seguir (LBNL, 2011):

- a) solução simultânea e integrada, onde a resposta da edificação está regularmente acoplada com os sistemas primários e secundários;
- b) intervalos de tempo definíveis pelo usuário, para integração entre as zonas térmicas e o ambiente, e intervalos de tempo variáveis para interações entre

- as zonas térmicas e os sistemas de HVAC (automaticamente e internamente variados para garantir a estabilidade numérica da solução);
- c) arquivo climático e arquivos de entrada e saída no formato ASCII, que inclui condições ambientais horárias ou sub-horárias e relatórios definíveis pelo usuário;
 - d) técnica de solução, baseada no balanço de energia para cargas térmicas de edificações, que permite o cálculo simultâneo dos efeitos da radiação e da convecção nas superfícies internas e externas em cada intervalo de tempo;
 - e) condução de calor transiente através dos elementos da edificação, tais como paredes, tetos, pisos, usando as funções de transferência por condução;
 - f) modelagem avançada da transferência de calor pelo solo, através de modelos de diferenças finitas computacionais e técnicas analíticas simplificadas;
 - g) modelo combinado de transferência de calor e massa que considera a absorção e a eliminação de umidade, como integração camada a camada com as funções de transferência por condução ou o modelo da Profundidade Efetiva de Penetração de Umidade (EMPD - *Effective Moisture Penetration Depth Model*);
 - h) modelos de Conforto Térmico baseados na atividade física, na T_{bs} (temperatura de bulbo seco) interna da zona, na umidade, na velocidade do ar;
 - i) cálculos avançados para as superfícies transparentes ou translúcidas, como vidros das janelas, incluindo controle de cortinas, balanços de energia por camada dos vidros disponíveis comercialmente;
 - j) análise efetiva de iluminação zenital e poços de luz;
 - k) controle da luz do dia, incluindo cálculos de iluminação interior, simulação e controle do brilho, das luminárias e do efeito da redução da luz artificial no aquecimento e na refrigeração;
 - l) sistema de HVAC configuráveis, que permitem aos usuários modelar sistemas típicos e modificados sem recompilar o código fonte do programa;
 - m) cálculos da poluição atmosférica, que predizem os níveis de CO_2 , SO_x , NO_x e CO;
 - n) possibilidade de comunicação com outros ambientes de simulação que permitem análises mais detalhadas de alguns componentes da edificação, tais como *WINDOW 5 e 6*.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para buscar alternativas que possibilitem a diminuição do consumo de energia elétrica de uma edificação e, ao mesmo tempo, proporcionar índices satisfatórios de conforto térmico para o grupo de pessoas que nela trabalham, se torna necessário conhecer as características deste ambiente. Neste capítulo, é apresentado o prédio escolhido, centro administrativo de Lojas Colombo situado em Farroupilha, RS. Neste prédio, são observadas as suas características de construção, ocupação, ar condicionado, iluminação e hábitos de trabalho, o clima da região e as estratégias bioclimáticas que podem ser utilizadas para minimizar o percentual de desconforto. Para avaliar a eficácia das medidas sugeridas na diminuição do consumo energético e na melhora do índice de conforto térmico, são realizadas simulações computacionais a partir de dados referentes à carga térmica das salas e aos elementos construtivos da edificação. Os resultados das alternativas que apresentam maior relevância são avaliados e comparados para posterior adequação.

3.1 EDIFICAÇÃO ESTUDADA

A edificação já possui alguns recursos que visam a sua efficientização, a exemplo de brises e sensores de presença. Todavia, uma análise do sistema de conforto térmico, adequação da iluminação e consumo de equipamentos é de suma importância para buscar maiores índices de economia.

O prédio está localizado no município de Farroupilha, Serra Gaúcha, a 110 km de Porto Alegre, 783 m de altitude, latitude 29°13'30" sul e longitude 51°20'52" oeste, sendo esta uma região de clima subtropical com temperaturas médias na faixa de 20 °C.

O estudo de caso é realizado nos sete andares do prédio administrativo, os quais não dispõem de sistema de condicionamento de ar e em uma sala externa onde está localizada a central de cobrança, conforme apresentado na Fig. 3.1. Esta sala possui 10 aparelhos de ar condicionado instalados, do tipo *Split* de 17,6 kW (60.000 Btu/h). O estudo e a análise do prédio e da sala externa visa um comparativo entre ambos, no que diz respeito ao consumo de energia e aos índices de conforto térmico.



Figura 3.1 - Vista interna da sala do setor de crédito e cobrança

A área total construída do prédio corresponde a 56.560 m², conforme já mostrado na Fig. 1.1, e a sala externa a 730,9 m², conforme a planta baixa observada na Fig. 3.2. A Tab.3.1 apresenta as temperaturas especificadas na NBR-16401 (2008). Outros dados relevantes são referentes à construção, ocupação, iluminação, equipamentos e tipo de atividades desenvolvidas pelos habitantes do prédio e da sala externa levantadas *in loco* e descrita na Tab. 3.2. Utilizando esses dados na simulação, é possível avaliar as condições de consumo e conforto da sala externa, determinar o consumo energético de cada uma das 15 salas pertencentes ao prédio e caracterizadas como zonas térmicas independentes, bem como os níveis de conforto térmico das mesmas, verificando se os dados obtidos estão de acordo com as temperaturas especificadas na norma brasileira.

Tabela 3.1 – ABNT - NBR 16401 – Instalações centrais de ar-condicionado

Condições internas para o verão - Temperatura de bulbo seco	
<i>TBS (°C) - recomendável</i>	<i>TBS (°C) - máxima</i>
23 a 25	26,5
Condições internas para o inverno - Temperatura de bulbo seco	
<i>TBS (°C) - recomendável</i>	
20 a 22	

Fonte: ABNT- NBR 16401 (2008)

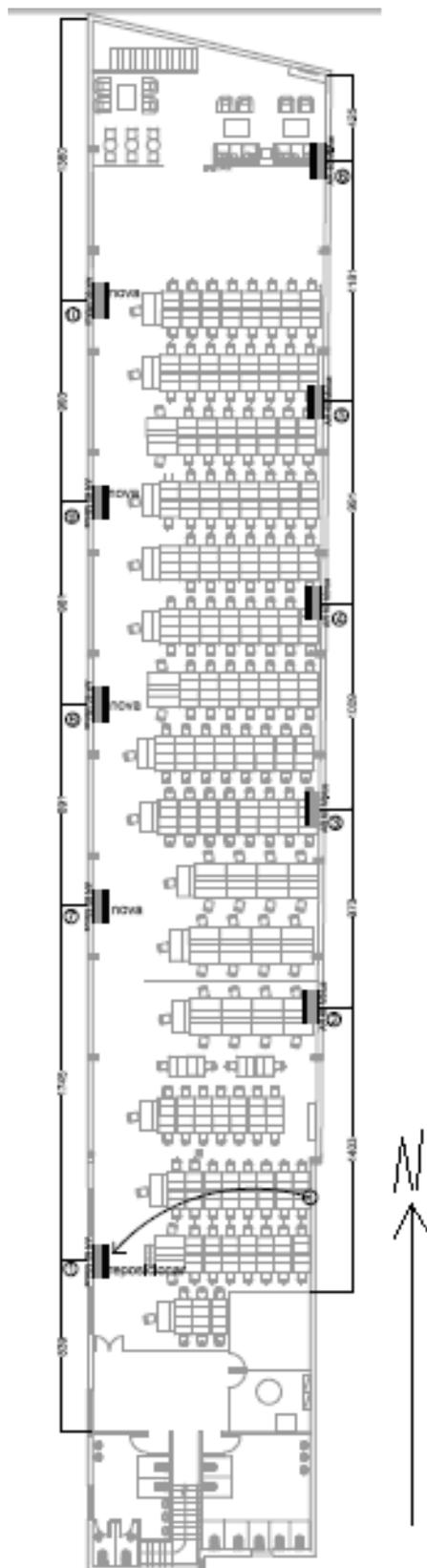


Figura 3.2 - Planta baixa sala externa, setor de Crédito e Cobrança

Tabela 3.2 - Dados referentes à sala externa e aos sete andares do prédio

	Sala Externa		Prédio de sete andares	
PAREDES EXTERNAS	Tijolo à vista - 19 cm Reboco na cor branca - 1,5 cm		Reboco na cor branca - 1,5 cm Tijolo maciço - 19 cm Reboco na cor branca - 1,5 cm	
PAREDES INTERNAS	Divisória leve (eucatex) - 3 cm		Divisória leve (eucatex) ----- Reboco na cor branca - 1,5 cm Tijolo furado - 9 cm Reboco na cor branca - 1,5 cm	
PISO	Laje de concreto - 10 cm Contra piso - 5 cm Reboco na cor branca - 1,5 cm Piso vinílico - 1 cm		Laje de concreto - 10 cm Contra piso - 5 cm Cimento cola - 1 cm Lajota - 1 cm	
FORRO	Telha de zinco ondulada - 0,5 cm Laje de concreto - 10 cm Revestimento de gesso - 1 cm Espuma acústica		Piso vinílico - Cimento cola - 1 cm Laje pré-moldada - 10 cm Reboco na cor branca - 1,5 cm	
JANELAS	Vidro basculante - 3 mm		Janela de abrir 04 folhas (sendo duas fixas e duas móveis) - vidro simples 3 mm	
PORTAS	Divisória leve (eucatex)		Divisória leve (eucatex)	
NÚMERO DE FUNCIONÁRIOS	243		470	
ROTINA FUNCIONÁRIOS	12h/dia		08h48min/dia	
AR CONDICIONADO	170,6 kW		-	
FUNCIONAMENTO DO AR CONDICIONADO	INVERNO 08h - 11h	VERÃO 08h - 18h	-	
ILUMINAÇÃO	70 luminárias - (2 x 32 W)		386 luminárias (2 x 32 W)	
FUNCIONAMENTO ILUMINAÇÃO	INVERNO 08h - 18h	VERÃO 08h - 10h 16h - 18h	INVERNO 08h - 18h	VERÃO 08h - 10h 16h - 18h
EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS	1 - Frigobar (560 W) 1 - Máquina de café (880 W) 1 - Máquina de lanches (1600 W) 275 - Computadores (264 W) 2 - Impressoras (2200 W)		8 - Frigobar (560 W) 9 - Máquinas de café (880 W) 1 - Máquina de lanches (1600 W) 470 - Computadores (264 W) 30 - Impressoras (2200 W) 240 - Estufas (1500 W) 61 - Ventiladores (745,7 W) 4 - TV (60 W)	
FUNCIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS	Frigobar - 24 h/dia Máquina de café - 24 h/dia Máquina de lanches - 24 h/dia Computadores - 08h - 12h / 13h - 18h Impressoras - 08h - 12h / 13h - 18h		Frigobar - 24 h/dia Máquina café - 24 h/dia Máquina de lanches - 24 h/dia Computadores - 08 h - 12 h / 13 h 18 h Impressoras - 08 h - 12 h / 13 h 18 h Estufas - 08 h - 12 h / 15 h - 18 h (inverno) Ventiladores - 10 h - 12 h / 13 h - 18 h (verão) TV - 08 h - 18 h	

3.2 PROGRAMA DE SIMULAÇÃO UTILIZADO

O programa computacional utilizado para realizar a análise termoenergética é o *EnergyPlus* versão 7.2.0.006, caracterizado por ser o programa de simulação de edificações oficial do Departamento de Energia dos Estados Unidos, cujas raízes são oriundas de dois outros programas: DOE-2 e Blast (“Building Loads Analysis and System Thermodynamics”) desenvolvidos em meados da década de 70, com o propósito de simular a carga térmica e analisar o consumo de energia elétrica visto que, segundo Carotenuto (2009), o consumo de energia elétrica em edificações era o principal componente do consumo total de energia do país.

Esse programa possibilita determinar a carga térmica, o consumo energético e as condições de conforto de cada zona térmica presente na edificação. Torna-se possível também avaliar a influência dos parâmetros construtivos no consumo energético e no conforto térmico das salas de trabalho da edificação. Como o *EnergyPlus* aceita qualquer valor de entrada de dados, exceto nos que possuem limites de máximos e mínimos, é necessário que haja especial atenção às informações inseridas nos arquivos de extensão IDF (*Input Data File*) quanto aos dados finais obtidos pela simulação.

A descrição total da edificação a ser simulada se encontra em arquivos de extensão IDF, próprios do *EnergyPlus*. Estes arquivos podem ser modificados utilizando-se um editor de textos qualquer, ou o próprio editor de IDF que o programa dispõe. Os arquivos permitem que sejam feitas alterações necessárias, tanto geométricas e físicas quanto de ocupação ou de equipamentos. A partir da interface principal e da interface do editor, as quais apresentam as instruções para execução das rotinas de cálculo do programa, é possível a execução da simulação.

O *EnergyPlus* calcula as cargas térmicas da edificação, baseado na descrição do ambiente feita pelo usuário, na qual constam as características construtivas da edificação, dados de ocupação, de refrigeração e aquecimento necessários para manter o controle térmico adequado, como também o consumo de energia da instalação, além de dados oriundos de um arquivo climático, caracterizado por ser um conjunto de medições efetuadas por longo período de tempo (10 anos ou mais) de uma localidade, com o objetivo de escolher os melhores índices que representem seu clima. Nas Fig.3.3 e 3.4 podem-se observar as interfaces principais do programa *EnergyPlus* e do editor IDF.

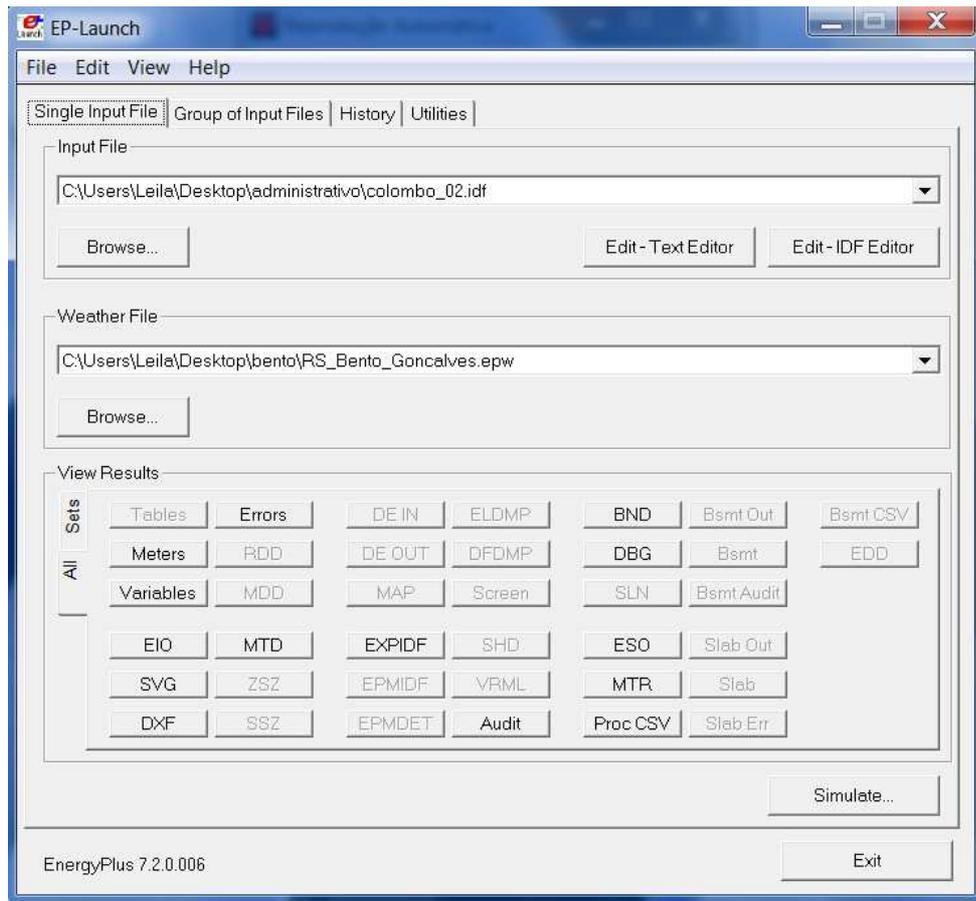


Figura 3.3 - Interface principal do programa *EnergyPlus*

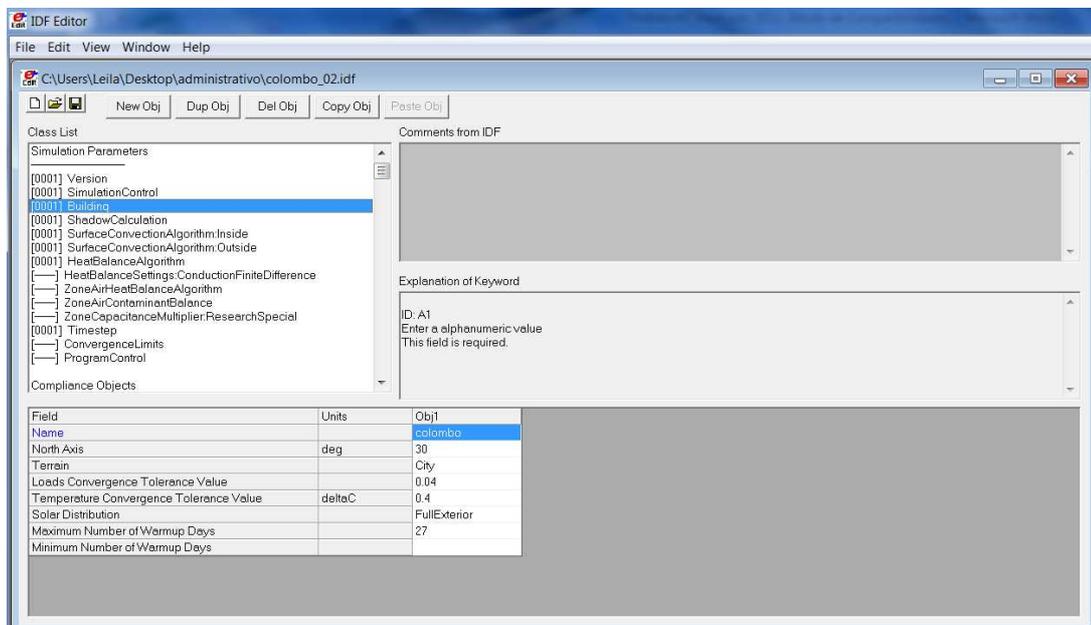


Figura 3.4 - Interface do editor do programa *EnergyPlus*

Para a realização dos cálculos, o programa se utiliza do conceito de zonas térmicas caracterizadas por serem regiões da construção, ou um conjunto de salas,

submetidas à mesma condição térmica. As cargas térmicas de arrefecimento e aquecimento resultam de diversos processos de transferência de calor por condução, convecção e radiação através da envoltória do edifício, bem como geração interna de ganhos térmicos nas zonas a climatizar. Alguns dos parâmetros que podem afetar as cargas térmicas são:

- a) *externos*: paredes, coberturas, pavimentos, vãos envidraçados e clarabóias;
- b) *internos*: iluminação, ocupação e equipamentos;
- c) *infiltrações*: fugas de ar e migração de umidade de uma zona para outra;
- d) *sistema de climatização*: ar exterior, possíveis fugas nas condutas, recuperação de energia e ventilação.

O *EnergyPlus* possui quatro algoritmos para solução da transferência de calor e massa a ser utilizado nos elementos construtivos da edificação (LBNL, 2010):

- a) **CTF** (*Conduction Transfer Function*) – considera apenas o calor sensível e não leva em consideração o armazenamento ou difusão de umidade nos elementos de construção. Este algoritmo será utilizado neste trabalho;
- b) **HAMT** (*Heat And Moisture Transfer*) – algoritmo de solução simultânea de transferência de calor e massa que considera a absorção de vapor na edificação. Utiliza a técnica de Elementos Finitos;
- c) **EMPD** (*Effective Moisture Penetration Depth*) – considera a difusão de calor sensível e o armazenamento de umidade nas superfícies internas. Todavia, necessita de informações adicionais das características de umidade dos materiais;
- d) **CondFD** (*Conduction Finite Difference*) – considera apenas o calor sensível e não leva em conta o armazenamento ou a difusão de umidade nos elementos de construção. Utilizado quando o usuário necessita simular a mudança de fase de alguns materiais ou a variação da condutibilidade térmica.

3.3 ANÁLISE BIOCLIMÁTICA

Através de um programa de bioclimatologia é possível obter estratégias de projeto adequadas, as quais influenciam significativamente o desempenho de uma edificação em termos de conforto térmico de seus ocupantes. O consumo energético é

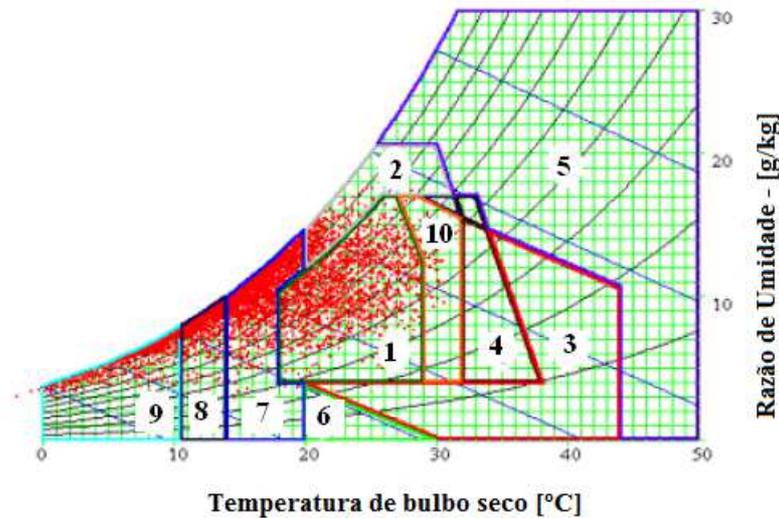
consequência das condições de conforto desejadas e, caso a edificação não esteja adaptada ao clima, será necessário maior consumo de energia para atingir este fim. Desta forma, a utilização de dados bioclimáticos corretos permite que a edificação esteja mais propícia a atingir condições de conforto ou de diminuir os consumos energéticos.

Para determinar essas estratégias bioclimáticas, é utilizado o programa *Analysis Bio*, desenvolvido pelo LabEEE/UFSC, que utiliza um arquivo climático para realizar as análises. Conforme a *ASHRAE*, existem duas formas de arquivo climático: *Test Reference Year* (TRY) e *Typical Meteorological Year* (TMY). Como a cidade de Farroupilha, local onde está situada a edificação em estudo, não possui um arquivo climático próprio, torna-se necessário buscar um local com características semelhantes e que possua um arquivo climático completo e atualizado. Assim, os dados bioclimáticos utilizados referem-se à cidade de Bento Gonçalves. A escolha se justifica devido às características geográficas peculiares compartilhadas pelas duas localidades.

Através da carta bioclimática, originada pelo programa *Analysis Bio*, Fig.3.5, que é desenhada sobre uma carta psicrométrica (diagrama que simplifica o estudo das propriedades do ar, como temperatura e umidade) e o arquivo climático da cidade de Bento Gonçalves, é possível obter estratégias mais adequadas para cada período do ano. Observando a carta bioclimática, é possível visualizar a variação climática que ocorre ao longo do ano. Os pontos em vermelho representam cada hora do ano e percorrem a região onde é indicado o aquecimento artificial (região 9) até o início da zona de ar condicionado (região 5).

Extraíndo os percentuais respectivos de cada zona, têm-se as estratégias bioclimáticas que devem ser adotadas para se obter conforto térmico nas edificações, onde em 21% das horas do ano haverá conforto e em 79% haverá desconforto, sendo 71% causado pelo frio e 8% pelo calor. Para amenizar o desconforto dos ocupantes do prédio, causado pelo frio, torna-se necessário a utilização de três estratégias bioclimáticas principais: alta inércia térmica com aquecimento solar (41,8%), podendo ser resolvida através do uso de energia térmica proveniente da radiação solar, a qual fica armazenada nas paredes da edificação e é transferida para o interior do ambiente nas horas mais frias, além da utilização de isolamento térmico, com o propósito de evitar a perda de calor para o exterior; a segunda é o aquecimento solar passivo (18,2%). Nele, a utilização de isolamento térmico eficiente nas superfícies, cores adequadas para as superfícies opacas e adequação das superfícies envidraçadas com orientação para o sol e consequente diminuição das aberturas nas orientações menos favoráveis se apresentam como

sugestões; e a terceira diz respeito ao aquecimento artificial (11,1%), tendo como alternativa a utilização de sistemas de ar condicionado. O desconforto provocado pelo calor (6,1%) pode ser amenizado com a utilização de ventilação.



1-conforto; 2-ventilação; 3-resfriamento evaporativo; 4-alta inércia/resfriamento evaporativo 5-ar condicionado; 6-umidificação; 7-alta inércia térmica/aquecimento solar; 8-aquecimento solar passivo; 9-aquecimento artificial; 10-ventilação/alta inércia/resfriamento evaporativo.

Figura 3.5 - Carta bioclimática de Bento Gonçalves

3.3.1 Arquivo Climático

Torna-se de suma importância estabelecer critérios de projeto que considerem a localização da edificação, bem como as questões de conforto térmico dos ocupantes e redução do consumo de energia elétrica. O conhecimento das condições climáticas externas auxilia na realização de projetos de sistemas de ar condicionado, simulações detalhadas de energia e consumo em edificações (POZZA, 2011).

A edificação escolhida como objeto de estudo está localizada na cidade de Farroupilha, distante 18 km de Caxias do Sul e a 24 km da cidade de Bento Gonçalves. As cidades situadas na região serrana do Rio Grande do Sul apresentam clima muito semelhante. Como a cidade de Farroupilha não possui uma estação total para fazer as medições das variáveis que compõem um arquivo climático é utilizado o arquivo bioclimático de Bento Gonçalves para a realização das simulações.

O *EnergyPlus* não requer arquivos climáticos com 8760 horas no caso de simulação de períodos curtos e permite gerar arquivos com frações de hora como, por exemplo, quinze minutos (GRINGS, 2003). O programa permite também, que o usuário

escolha, no arquivo *IDF*, qual o tipo de período será simulado, dessa forma é possível optar por utilizar dias de projeto, arquivo climático ou os dois tipos simultaneamente, conforme utilizado neste trabalho.

Os dias de projeto são utilizados para dimensionar o sistema de *HVAC* da edificação. Para o cálculo de carga térmica de refrigeração e aquecimento, são utilizados dois dias de projeto, sendo um para verão, no qual o sistema de *HVAC* demanda maior potência de refrigeração, e outro para inverno cuja demanda maior de potência recai sobre a necessidade de aquecimento.

3.3.2 Dados Avaliados com o Programa *EnergyPlus*

Com o auxílio do programa *EnergyPlus* são avaliados, através de simulações, os seguintes dados:

- a) *temperatura interna das salas* - analisa a variação da temperatura no interior das salas de trabalho (zonas térmicas) avaliando diferentes combinações de parâmetros construtivos a exemplo de vidros, revestimentos, isolamento térmico, dentre outros, a fim de possibilitar melhora nos índices de conforto térmico das pessoas que trabalham no prédio em estudo;
- b) *demanda de energia elétrica* - determina a demanda de energia elétrica relacionada a iluminação, equipamentos elétricos, sistema de *HVAC*;
- c) *consumo de energia elétrica* - determina o consumo anual através do somatório dos consumos mensais da edificação. Este parâmetro também está interligado com os sistemas de *HVAC*, iluminação e equipamentos elétricos;
- d) *índice de PMV* - avalia o índice de conforto térmico das salas (zonas térmicas). O *PMV* representa a sensação de desconforto por frio ou calor através de um valor numérico.

3.4 MÉTODO UTILIZADO

Para possibilitar a avaliação do conforto térmico e o consumo de energia das salas de trabalho é feita uma caracterização detalhada da edificação, descrevendo as zonas térmicas a serem simuladas, as fontes de calor existentes na edificação, oriundas da ocupação, taxa metabólica e resistência térmica das vestimentas, equipamentos elétricos, iluminação, propriedades térmicas dos materiais construtivos e do sistema de ar

condicionado presente na sala externa, possibilitando, assim, um comparativo com o índice de conforto térmico das demais dependências do prédio. Posteriormente, alguns parâmetros construtivos (tipo de vidro, revestimentos internos e equipamentos) são modificados e avaliados. Além disso, para garantir melhores índices de conforto térmico aos ocupantes da edificação, serão simuladas condições de condicionamento de ar e, na sala externa, será avaliado se os aparelhos atualmente instalados atendem a demanda do local.

O método utilizado para avaliação da eficácia dos parâmetros construtivos segue basicamente a ordem mencionada abaixo:

- a) realizar levantamento in loco das características construtivas do prédio, tais como: paredes internas e externas, piso, forro, janelas, portas, iluminação e demais dados relevantes com o auxílio da área de infraestrutura e consulta aos memoriais descritivos do prédio existentes nos arquivos da empresa. Nos arquivos do setor de Recursos Humanos e Departamento de Informática, foram coletadas informações exatas sobre número de funcionários, carga horária, rotina de trabalho e tipo de equipamentos utilizados para desenvolvimento das atividades diárias. Também foram avaliadas as condições de conforto térmico e o desempenho das máquinas de ar condicionado instaladas na sala do Departamento de Cobrança, analisando se o sistema atual é o mais indicado para atender a demanda da sala. Foram confrontados os índices de conforto térmico do prédio, cujas salas contam apenas com ventilação natural, com os levantados na sala externa provida de condicionamento de ar;
- b) simular a condição real das salas no *EnergyPlus*, elaborando gráficos e curvas de carga. Estes gráficos são referentes à temperatura interna dos ambientes de trabalho e serão avaliados durante 24 horas de um dia típico de projeto de inverno e de verão cujas temperaturas apresentam valores extremos. A curva de carga obtida representa a demanda diária e o somatório dos consumos elétricos dos equipamentos e iluminação;
- c) validar a simulação comparando os resultados obtidos com os dados reais medidos, uma vez que a sala externa possui três medidores individuais para monitorar o consumo individual da iluminação, equipamentos e ar condicionado.

- d) simular as salas pertencentes ao prédio com os dados levantados *in loco* e, posteriormente, inserir condicionamento de ar, de modo a que as temperaturas internas sejam iguais às especificadas na NBR-16401, buscando assim que todos os ocupantes estejam em conforto térmico;
- e) partindo dos dados iniciais levantados *in loco*, alterar parâmetros construtivos, a exemplo de diferentes tipos de vidros e/ou revestimentos internos com isolamento térmico e realizar nova simulação;
- f) avaliar possibilidades que colaborem para um menor consumo de energia elétrica e manter as salas do prédio em níveis satisfatórios de conforto, conforme NBR- 16401. Através dos dados de consumo mensais, obtidos nas faturas de energia elétrica, será estimado o consumo do prédio caso seja adaptado sistema de ar condicionado;
- g) realizar um estudo de viabilidade econômica, verificando a relação custo-benefício dos melhores parâmetros construtivos analisados através das simulações no *EnergyPlus*.

3.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos através das simulações realizadas através do programa *EnergyPlus* são apresentadas em planilhas no formato **CSV** (Comma Separated Values), formato que pode ser lido pela maioria dos editores eletrônicos de planilhas, a exemplo do *Excel*, que foi utilizado neste trabalho.

Através da análise de capacidade nominal dos sistemas de ar condicionado disponibilizados pelos fabricantes, foi realizado comparativo com os dados simulados, propondo o sistema mais econômico e eficiente para atender as demandas de conforto térmico da edificação.

Para obter os resultados de consumo elétrico, que determinam os custos operacionais anuais da edificação, foi utilizado o arquivo climático correspondente à cidade de Bento Gonçalves, conforme já mencionado, e foram analisados os dados mensais constantes nas faturas de energia elétrica e os individualmente medidos:

- a) consumo de energia elétrica do sistema de condicionamento de ar;
- b) consumo de energia elétrica dos sistemas de iluminação e equipamentos;
- c) consumo de energia elétrica total da edificação.

Um comparativo entre os dados obtidos via pesquisa, os oriundos das simulações realizadas e os dados levantados *in loco* e acompanhados nas faturas mensais de energia elétrica possibilitou validar os parâmetros e propor novas alternativas que visem economia de energia elétrica e melhores condições de conforto térmico para os ocupantes da edificação. Para facilitar a análise e interpretação dos dados e resultados obtidos através da simulação, são elaboradas tabelas e gráficos demonstrativos. Os dados mensais referentes ao consumo de energia elétrica da edificação e da sala externa são comparados com os obtidos a partir das simulações realizadas e, assim, validados os resultados.

De posse dos dados simulados e comparados aos obtidos através das análises, é possível apresentar resultados horários para cada zona térmica avaliada, das horas confortáveis e não confortáveis em relação à temperatura operativa para cada ambiente e comparar os dados de consumo e demanda lidos nas faturas mensais disponibilizadas pela concessionária. A partir destes comparativos são propostas alternativas que visam maior eficiência dos componentes e equipamentos, maior conforto térmico aos ocupantes da edificação e redução do consumo de energia elétrica da edificação.

4 MODELAGEM DA EDIFICAÇÃO

Para analisar a eficácia do uso de diferentes elementos construtivos, proporcionar índices satisfatórios de conforto térmico e avaliar os dados referentes ao consumo e demanda de energia elétrica da edificação, é necessário um levantamento das características construtivas, do perfil de ocupação e dos equipamentos elétricos utilizados no prédio.

4.1 ZONAS TÉRMICAS

O *EnergyPlus* define as zonas térmicas como um volume de ar com temperatura uniforme, com o envoltório constituído de superfícies de troca térmica, como paredes, pisos, forros, portas e janelas. Desta forma, dividir uma edificação em zonas térmicas possibilita analisar separadamente a resposta termoenergética de diferentes ambientes. Tais dados permitem, por exemplo, identificar os locais que demandam maior ou menor potência de condicionamento de ar.

A edificação foi dividida em quinze zonas térmicas, Fig 4.1. Foram consideradas todas as salas do prédio o mais próximo possível das características arquitetônicas da edificação.

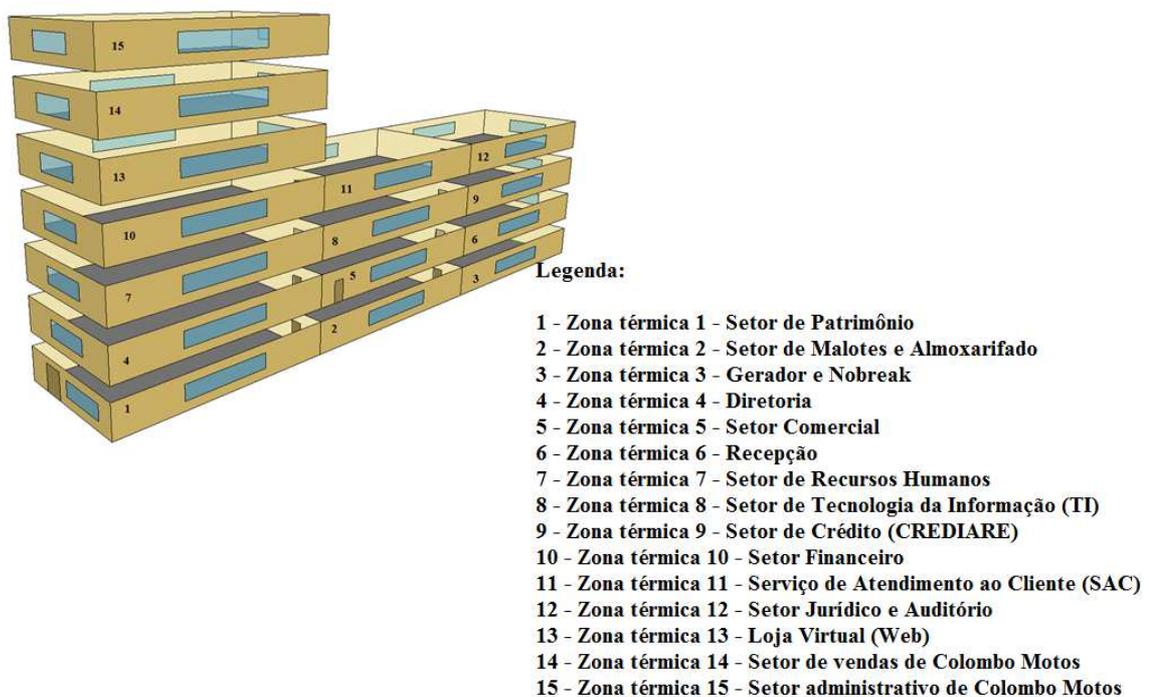


Figura 4.1 - Divisão do prédio administrativo em quinze zonas térmicas

As zonas térmicas definidas são constituídas de 154 superfícies de troca térmica, sendo 90 superfícies divididas entre paredes, pisos, forros, tetos e telhado; 64 superfícies divididas entre janelas e portas de vidro. Além destas, há mais 42 superfícies de sombreamento denominadas brises, localizadas nas partes leste, oeste e norte da edificação. A sala externa é avaliada separadamente visto as diferenças de ocupação, ausência de sombreamento e área total e, também serve de parâmetro comparativo com relação ao conforto térmico e consumo de energia em relação às demais zonas térmicas estudadas visto que conta com um sistema de ar condicionado instalado tipo *split*.

As quinze zonas, pertencentes ao prédio, apresentam área de piso de 371,2m² e altura livre de 3,7m sendo o volume total de cada zona igual a 1373,44m³. Da mesma forma, a sala externa possui área de piso correspondente a 690m², altura livre igual a 3,5m o que representa um volume total de 2415m³. Estes dados são de suma importância para o cálculo de potência necessária para a instalação de equipamentos de ar condicionado nas dependências do prédio, a fim de proporcionar melhora nos índices de conforto térmico, além de auxiliar na busca por alternativas e mudanças nos parâmetros construtivos e analisar a eficácia do sistema de condicionamento de ar já instalado na sala externa.

A Fig. 4.2 apresenta o desenho do prédio conforme realizado no *software Google Sketchup* e importado para o *EnergyPlus* com auxílio do *plugin OpenStudio*. Como os quatro primeiros andares apresentam três zonas térmicas cada um, cada qual com a mesma área e os três últimos andares são constituídos por uma única zona de igual área, são apresentados dois desenhos para representação das zonas térmicas do prédio, um representando os andares com 03 zonas e outro para a representação dos andares caracterizados por apenas uma zona, Fig. 4.3 e 4.4. Igual interface, entre os programas citados acima, foi realizada com a sala externa cujo desenho, feito para a realização da simulação, é apresentado na Fig. 4.5.

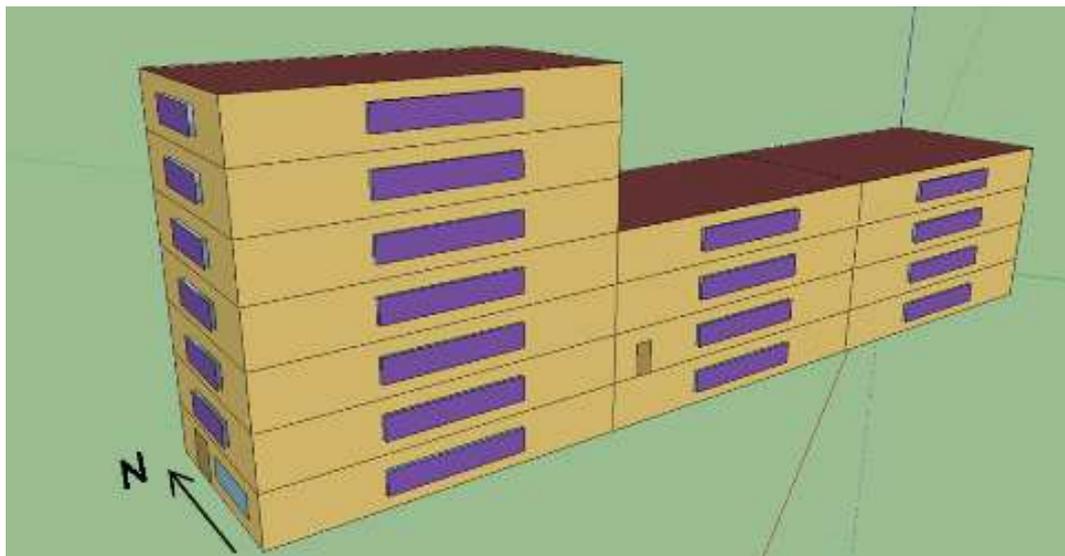


Figura 4.2 - Desenho do prédio administrativo importado para o *EnergyPlus*

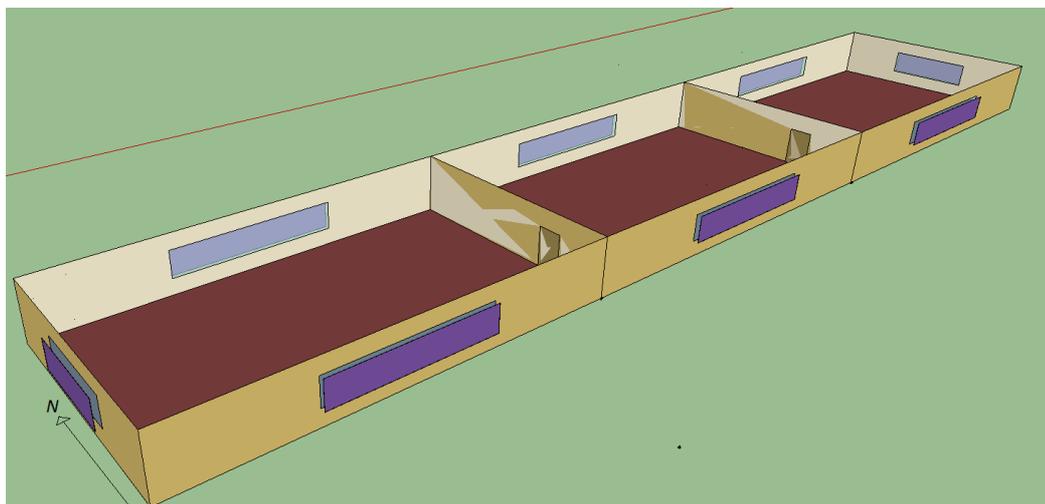


Figura 4.3 - Representação das três zonas térmicas contidas nos quatro primeiros andares

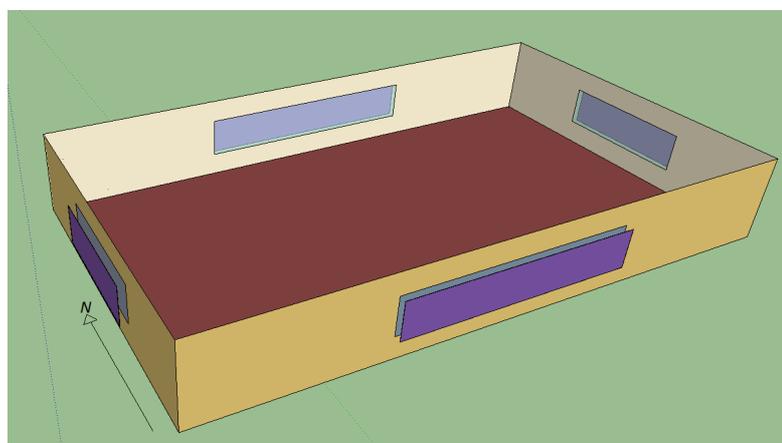


Figura 4.4 - Representação da zona térmica contida nos três últimos andares

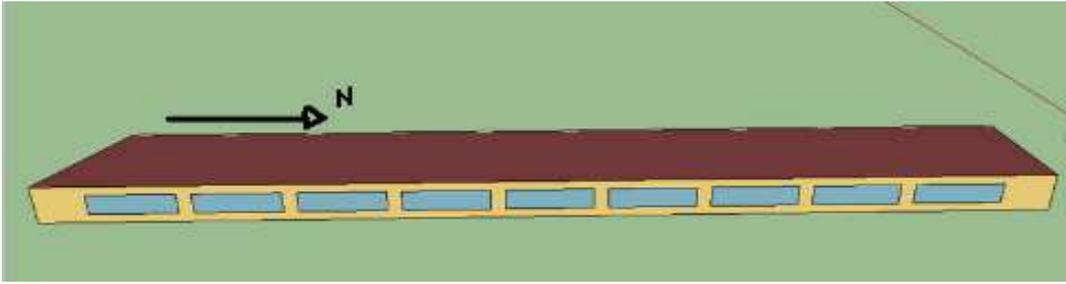


Figura 4.5 - Desenho da sala externa importado para o *EnergyPlus*

Nas janelas há a presença de brises, Fig 4.6, os quais têm como principal objetivo impedir a entrada dos raios solares diretamente no ambiente de trabalho. A Fig 4.7 demonstra como os brises foram representados no desenho. Estas proteções apresentam formato horizontal e cobrem toda a extensão da janela possibilitando total vedação à passagem direta de raios solares nos postos de trabalho minimizando, com isso, o desconforto visual dos funcionários, uma vez que evitam ofuscamento e diminuem a geração de calor.



Figura 4.6 - Proteções solares instaladas nas janelas da edificação

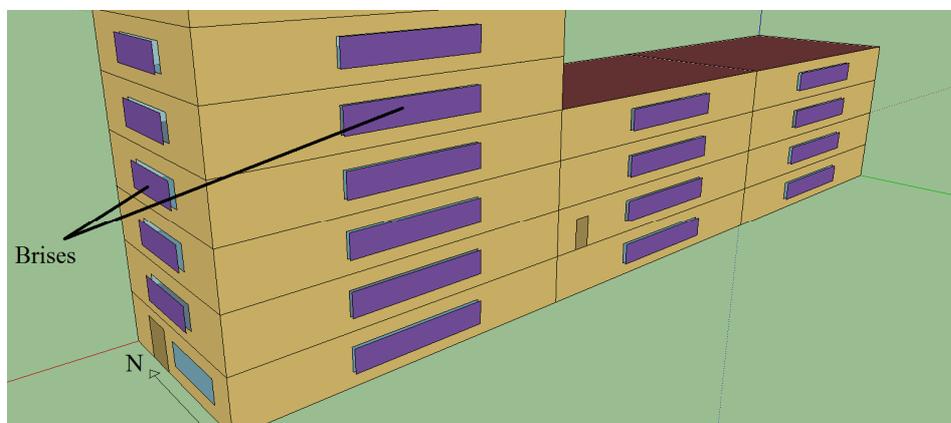


Figura 4.7 - Vista das proteções solares (brises) existentes próximas às janelas

4.2 FONTES DE GERAÇÃO DE CALOR

A influência das cargas internas apresenta grande relevância sobre a carga térmica de um ambiente principalmente quando há elevada densidade de ocupação e potência elétrica instalada. A carga interna das salas leva em conta a ocupação, a taxa metabólica, os equipamentos elétricos, a iluminação, as propriedades térmicas dos materiais construtivos e a infiltração de ar. Além destes, na sala externa, há de se considerar o sistema de condicionamento de ar instalado.

As características de ocupação, de taxa metabólica, de resistência térmica das vestimentas, infiltração, equipamentos elétricos e iluminação são iguais em todas as simulações e são descritos a seguir.

a) *características de ocupação:*

A sala externa, por ser uma central de cobrança, apresenta características de ocupação e horários de trabalho diferenciados das demais zonas avaliadas, conforme Tab. 4.1.

O prédio possui ocupação total de 473 pessoas. A quantidade de funcionários por sala varia de acordo com as características e demanda de cada setor. Desta forma, setores responsáveis pelo atendimento direto ao consumidor, pelo suporte de tecnologia da informação (TI) e por vendas e logística apresentam um número maior de funcionários alocados nestas salas com o objetivo de suprir a necessidade de atendimentos diários a clientes e de prestar suporte às filiais da empresa. Os setores que apresentam número menor de funcionários são caracterizados pelo atendimento às necessidades internas da empresa no que se refere ao controle administrativo, financeiro, patrimonial e jurídico. A ocupação do prédio ocorre diariamente conforme Tab. 4.2.

Tabela 4.1 - Ocupação diária da sala externa

Zona	Período	Número de ocupantes
Sala externa	07:45 h às 14:00 h	165
	08:00 h às 12:00 h e 13:00 h às 17:48 h	78
	14:00 h às 20:00 h	165
Total de ocupantes		243

Tabela 4.2 - Ocupação diária de cada zona térmica pertencente ao prédio

Zona	Período	Número de ocupantes
1	08:00 h às 12:00 h e 13:00 h às 17:48 h	16
2	08:00 h às 12:00 h e 13:00 h às 17:48 h	5
3	08:00 h às 12:00 h e 13:00 h às 17:48 h	0
4	08:00 h às 12:00 h e 13:00 h às 17:48 h	10
5	08:00 h às 12:00 h e 13:00 h às 17:48 h	77
6	08:00 h às 12:00 h e 13:00 h às 17:48 h	1
7	08:00 h às 12:00 h e 13:00 h às 17:48 h	46
8	08:00 h às 12:00 h e 13:00 h às 17:48 h	50
9	08:00 h às 12:00 h e 13:00 h às 17:48 h	23
10	08:00 h às 12:00 h e 13:00 h às 17:48 h	54
11	08:00 h às 12:00 h e 13:00 h às 17:48 h	15
12	08:00 h às 12:00 h e 13:00 h às 17:48 h	22
13	08:00 h às 12:00 h e 13:00 h às 17:48 h	74
14	08:00 h às 12:00 h e 13:00 h às 17:48 h	51
15	08:00 h às 12:00 h e 13:00 h às 17:48 h	29
Total de ocupantes		473

b) *taxa metabólica:*

Cada ocupante, tanto do prédio quanto da sala externa, no período das 07h45min às 20h00min possui uma taxa metabólica, conceituada no item 2.3.1, de 70 W/m² por estar sentado praticando atividade de escritório. Conforme a ISO 7243, a área superficial média aproximada de uma pessoa é igual a 1,8 m², considerando uma massa de 70 kg e a altura de 1,70 m. Desta forma, cada ocupante, ao estar sentado desempenhando atividades de escritório, dissipa ao ambiente 126 W.

c) *resistência térmica das vestimentas:*

A resistência térmica das vestimentas dos ocupantes sofre variação durante os períodos de verão e inverno e pode ser determinada pela equação 2.1 apresentada no item 2.3.1.

VERÃO: roupa íntima + calça + meia fina + sapato + camisa manga curta = 0,58 clo

INVERNO: roupa íntima + calça + meia grossa + sapato + camisa manga longa + blusão + jaqueta = 1,2 clo

Todos os valores da resistência térmica das vestimentas foram extraídos da ISO 7730 (1994) e calculados mediante avaliações realizadas *in loco* nas quais foram observadas as principais características e tipos de roupas utilizadas pela maioria dos ocupantes da edificação.

d) *equipamentos elétricos:*

Os equipamentos elétricos existentes no interior da sala externa e no prédio, com exceção das lâmpadas e sistema de *HVAC*, apresentam, respectivamente, potência nominal de 80.040 W e 609.807 W. As tabelas 4.3 e 4.4 apresentam a programação de funcionamento dos equipamentos elétricos.

Tabela 4.3 - Equipamentos elétricos utilizados na sala de cobrança externa

Período	Equipamentos	Potência nominal Verão e Inverno
00h00min às 7h45min	Máquina de café	880 W
	Frigobar	70 W
	Máquina de lanche	1600 W
07h45min às 20h00min	Máquina de café	880 W
	Frigobar	70 W
	Máquina de lanche	1600 W
	Impressora	2200 W
	Computador	264 W
20h00min às 00h00min	Máquina de café	880 W
	Frigobar	70 W
	Máquina de lanche	1600 W

e) *iluminação:*

Tanto nas zonas térmicas do prédio quanto na sala externa são utilizadas luminárias com refletores de alumínio de alto rendimento para possibilitar que o fluxo luminoso seja direcionado para a área de trabalho. Cada luminária conta com sistema individualizado de liga/desliga, o que possibilita que cada usuário utilize a iluminação artificial conforme a sua necessidade. As luminárias contêm duas lâmpadas do tipo fluorescente tubular de 28 ou 32 W. A potência nominal de iluminação na sala externa corresponde a 4.480 W e no prédio, a 25.528 W.

f) *ventilação natural*:

A utilização de ventilação natural em todas as quinze zonas pertencentes ao prédio auxilia na melhora do conforto térmico e das condições ambientais no interior da edificação. Para a realização do cálculo referente à ventilação natural, são definidos parâmetros básicos no programa *EnergyPlus*. Desta forma, o cálculo de ventilação das zonas acontece durante toda a simulação, os coeficientes de pressão e de direção do vento são calculados pelo programa, uma vez que se trata de uma edificação retangular, denominada como *Lowrise*, cuja altura é três vezes menor que a largura da área do piso e três vezes menor que o comprimento da área do piso e a ventilação através das portas e janelas é controlada através da zona térmica.

Tabela 4.4 - Equipamentos elétricos utilizados nas zonas térmicas do prédio (zona 01 à zona15)

Período	Equipamentos	Pot. nominal Inverno	Pot. nominal Verão	Pot. nominal Inverno e Verão
00h00min às 08h00min	Máquina de café			880 W
	Máquina de lanche			1600 W
	Bebedouro			100 W
	Frigobar			70 W
	Elevador			22371 W
	Bomba			11185 W
08h00min às 18h00min	Computador			264 W
	Impressora			2200 W
	Ventilador		745 W	
	Estufa	1500 W		
	TV			60 W
	Máquina de café			880 W
	Máquina de lanche			1600 W
	Bebedouro			100 W
	Frigobar			70 W
	Elevador			22371 W
	Bomba			11185 W
18h00min às 00h00min	Máquina de café			880 W
	Máquina de lanche			1600 W
	Bebedouro			100 W
	Frigobar			70 W
	Elevador			22371 W
	Bomba			11185 W

O programa define automaticamente quatro frestas em volta do perímetro da porta ou da janela quando estas estão fechadas. Como não há um valor padrão, o parâmetro deve ser preenchido com valores maiores que zero. Liddament (1986) atribuiu dados de escoamento de ar através das frestas, apropriados para aberturas de diferentes modelos e materiais. Nas simulações do prédio foram utilizados valores de coeficiente de fluxo de ar de 0,00005 para as portas internas e externas de metal. Para as janelas de duas folhas com deslizamento horizontal sem vedação o coeficiente de fluxo de ar correspondeu a 0,00028. A fração de abertura que as portas e janelas possuem também é definida no programa com valores que variam entre zero e um.

As características do sistema de condicionamento de ar e as propriedades térmicas dos materiais construtivos, como condutividade térmica, calor específico, absorvância solar e emissividade solar, sofrem variações nos casos simulados visto que o propósito é de avaliar melhores alternativas que colaborem na melhora dos índices de conforto térmico e redução do consumo final de energia elétrica. Sendo assim, em cada simulação da sala externa são descritas as características construtivas e do sistema de HVAC e, nas simulações do prédio, inicialmente são apresentados os valores reais obtidos com a utilização de ventilação natural e, posteriormente são realizadas simulações com a inclusão de sistema de condicionamento de ar, além de alterações dos tipos de materiais atualmente utilizados na edificação.

4.3 CONDIÇÃO REAL – CASO REAL

A primeira simulação realizada refere-se à situação atual existente tanto no que diz respeito à sala externa quanto ao prédio. Foram utilizados os dados do sistema de HVAC instalado na sala de cobrança e as características construtivas, levantadas *in loco*, de ambas as edificações.

4.3.1 Sistema de HVAC Sala Externa

O sistema de resfriamento e aquecimento instalado na sala de cobrança é composto de dez condicionadores de ar do tipo *split*. A capacidade nominal de refrigeração e aquecimento de cada aparelho corresponde a 17.572,8 W (60.000 Btu/h) e potência elétrica nominal de 5.760 W. O funcionamento dos aparelhos está condicionado

a valores de temperatura máximos e mínimos pré-estabelecidos e controlados com auxílio de termostato, sendo o valor real mínimo de 19 °C e o máximo de 24 °C.

Renovadores de ar, instalados junto aos próprios aparelhos de ar condicionado, auxiliam na renovação do ar no interior da sala.

4.3.2 Características Construtivas das Edificações em Estudo

Para a realização da simulação é necessário fornecer ao programa *EnergyPlus* as propriedades termofísicas dos materiais utilizados na construção da edificação, tanto no que se refere à sala externa quanto ao prédio.

A Tabela 4.5 apresenta as propriedades físicas e óticas referentes ao tipo de vidro utilizado nas duas edificações: transmitância solar (τ), refletividade solar interna e externa (ρ_s), transmitância solar visível (τ_v), refletividade solar visível interna e externa (ρ_{sv}), emissividade solar interna e externa (ε) e a condutividade térmica (λ).

Tabela 4.5 - Características físicas e óticas do vidro utilizado na sala externa. Condição real.

Vidro comum claro										
	espessura (mm)	τ	ρ_s exterior	ρ_s interior	τ_v	ρ_{sv} exterior	ρ_{sv} interior	ε exterior	ε interior	λ (W/(m K))
Vidro	3	0,86	0,078	0,078	0,89	0,082	0,082	0,84	0,84	0,9

Fonte: adaptado de Çengel *et al.* (2001)

A Tabela 4.6 indica a espessura da camada de material, massa específica aparente (ρ), condutividade térmica (λ), calor específico (c), absorptância solar (α_s) e emissividade solar (ε), referentes aos tipos de materiais utilizados nas estruturas das edificações. Como há uma grande diversidade de materiais, possibilitando usos variados, de maneira a adequar de forma mais eficiente cada ambiente, são descritas em separado as características de cada estrutura pertencente às duas edificações em análise.

4.3.3 Análise dos Resultados da Simulação do Caso Real

A taxa metabólica e a resistência térmica das vestimentas são variáveis pessoais que, somadas às variáveis ambientais como temperatura do ar, temperatura média radiante, umidade relativa e velocidade do ar, exercem importante influência nas

condições de conforto térmico das pessoas. Para avaliar as condições de conforto dos ocupantes, tanto da sala de cobrança como do prédio, foi utilizado o método de Fanger, denominado *PMV*. Este método tem como resultado um valor numérico e foi desenvolvido por Fanger com o objetivo de avaliar as respostas do ser humano quanto à sensação de conforto ou desconforto perante o frio ou o calor.

Tabela 4.6 - Características termofísicas dos materiais construtivos na condição real

Materiais		espessura (cm)	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m K))	C (J/(kg K))	α_s -	ε -
PAREDE EXTERNA (sala cobrança)	Tijolo à vista	19	1700	0,9	920	0,7	0,9
	Reboco cor branca	1,5	1800	1,15	1000	0,2	0,9
PAREDE EXTERNA (prédio)	Reboco cor branca	1,5	1800	1,15	1000	0,2	0,9
	Tijolo maciço	19	1600	0,9	920	0,7	0,9
	Reboco cor branca	1,5	1800	1,15	1000	0,2	0,9
PAREDE INTERNA (sala cobrança)	Divisória eucatex	3	930	0,17	820	0,6	0,9
PAREDE INTERNA (prédio)	Divisória eucatex	3	930	0,17	820	0,6	0,9
	Reboco cor branca	1,5	1800	1,15	1000	0,2	0,9
	Tijolo furado	9	1400	0,9	920	0,7	0,9
	Reboco cor branca	1,5	1800	1,15	1000	0,2	0,9
PISO (sala cobrança)	Laje de concreto	20	1400	0,51	1000	0,6	0,9
	Contra piso	5	1800	1,51	1000	0,2	0,9
	Reboco cor branca	1,5	1800	1,15	1000	0,2	0,9
	Piso vinílico	1	1300	0,17	1840	0,6	0,9
PISO (prédio)	Laje de concreto	20	1400	0,51	1000	0,6	0,9
	Contra piso	5	1800	1,51	1000	0,2	0,9
	Cimento cola	1	1800	1,15	1000	0,2	0,9
	Lajota	3	2000	1,5	975	0,6	0,9
FORRO (sala cobrança)	Telha de zinco ondulada	5	1900	0,9	850	0,6	0,9
	Bloco de concreto	20	1400	0,51	1000	0,6	0,9
	Revestimento gesso	1	950	0,16	840	0,6	0,9
	Espuma acústica	1,9	368	0,06	590	0,6	0,9
FORRO (prédio)	Piso vinílico	1	1300	0,17	1840	0,6	0,9
	Cimento cola	1	1800	1,15	1000	0,2	0,9
	Laje de concreto	20	1400	0,51	1000	0,6	0,9
	Reboco cor branca	1,5	1800	1,15	1000	0,2	0,9
PORTA EXTERNA	Aço	2	7,84	0,1	450	0,2	0,9
PORTA INTERNA	Divisória eucatex	4	930	0,17	820	0,6	0,9

Fonte: adaptado de Çengel *et al.* (2001)

O programa *EnergyPlus* realiza a avaliação dos índices de conforto dos ocupantes de cada zona térmica levando em consideração os ganhos de calor oriundos do metabolismo humano, os gerados por equipamentos e iluminação, como também os oriundos dos processos de condução, convecção e radiação. As análises das condições de conforto presentes em cada zona térmica são realizadas em separado visto que a sala externa constitui-se em uma única zona térmica, apresenta um número maior de ocupantes por metro quadrado de área construída, possui horário de trabalho diferenciado e um sistema de condicionamento de ar instalado, enquanto o prédio administrativo caracteriza-se por conter quinze zonas térmicas distribuídas em sete andares. Cada zona apresenta algumas particularidades referentes ao número de ocupantes e posição solar, porém todas as quinze zonas térmicas apresentam as mesmas características construtivas e mesmo horário de trabalho.

a) *sala externa (caso real):*

Os dados de conforto dos ocupantes da sala externa são analisados nas Fig. 4.8 e 4.9. Foram extraídos, da simulação, os índices máximos e mínimos mensais com o objetivo de avaliar o mês e dia com maior ocorrência de desconforto, tanto no que se refere à sensação de calor quanto de frio e, posteriormente, avaliá-los buscando alternativas que atendam a necessidade dos ocupantes.

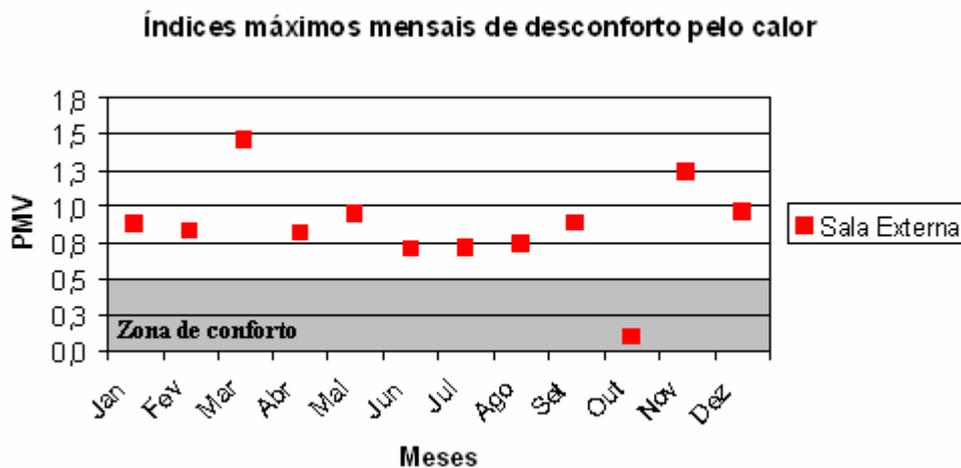


Figura 4.8 - Índices máximos de *PMV* simulados referentes ao desconforto pelo calor

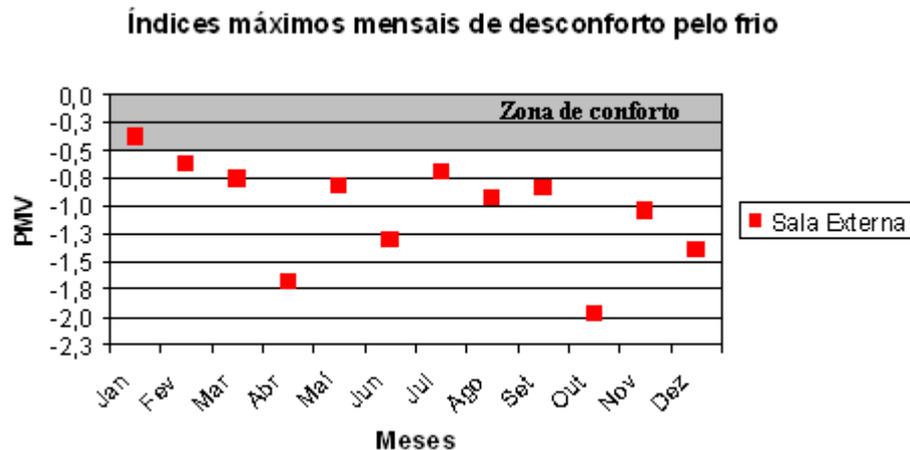


Figura 4.9 - Índices máximos de *PMV* simulados referentes ao desconforto pelo frio

De acordo com os índices máximos e mínimos de *PMV*, nota-se que eles oscilam e que, mesmo tendo um sistema de ar condicionado instalado, em diferentes horários, os ocupantes se encontram fora da zona de conforto, caracterizada por $-0,5 < PMV < 0,5$. No dia nove de março observa-se o maior índice de desconforto relacionado ao calor, conforme Fig. 4.10. Neste dia, às dezessete horas, o índice obtido pela simulação foi de 1,5, ocasionado pelo elevado número de equipamentos ligados, ocupação da sala e pela maior incidência de radiação solar sobre a sala durante o período da tarde. Isto justifica, também, a ocorrência de desconforto pelo calor durante os meses de inverno em intervalos compreendidos entre 17h00min e 20h00min. Tal avaliação é feita, também, para a sensação de desconforto com o frio sendo, no dia trinta de abril, às oito horas o maior valor registrado de desconforto, -2,4, apresentado na Fig. 4.11. Observa-se que, mesmo em meses de verão, ocorrem índices de desconforto pelo frio, ocasionados principalmente pelas características da região serrana onde, pela manhã, são registradas baixas temperaturas acompanhadas de umidade e nevoeiro. O período de desconforto ocorre entre as 08h00min e 10h00min.

Nas Fig. 4.10 e 4.11 são analisados os índices de *PMV* durante as horas de ocupação do dia mais quente e do dia mais frio, que apresentaram índices mais elevados quando da análise mensal. O sistema de condicionamento de ar existente na sala é regulado para manter a temperatura entre 22 °C e 24 °C, todavia em dias de calor intenso, a exemplo do dia nove de março, em que a temperatura externa atingiu 32 °C, o sistema de resfriamento não atende a necessidade devido à capacidade do sistema estar mal dimensionada. O desconforto é notado a partir das 10h00min. De igual forma, em dias mais frios principalmente os que ocorrem em períodos não característicos de inverno,

como exemplo o dia trinta de abril, o sistema não opera de maneira satisfatória para garantir o conforto térmico. Neste dia a temperatura externa não passou dos 12 °C.

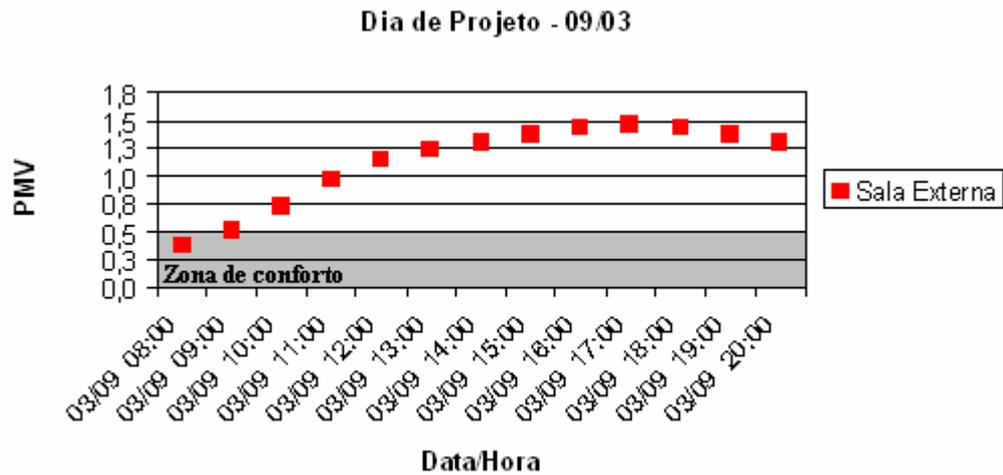


Figura 4.10 - Índices de *PMV* para um dia quente (caso real)

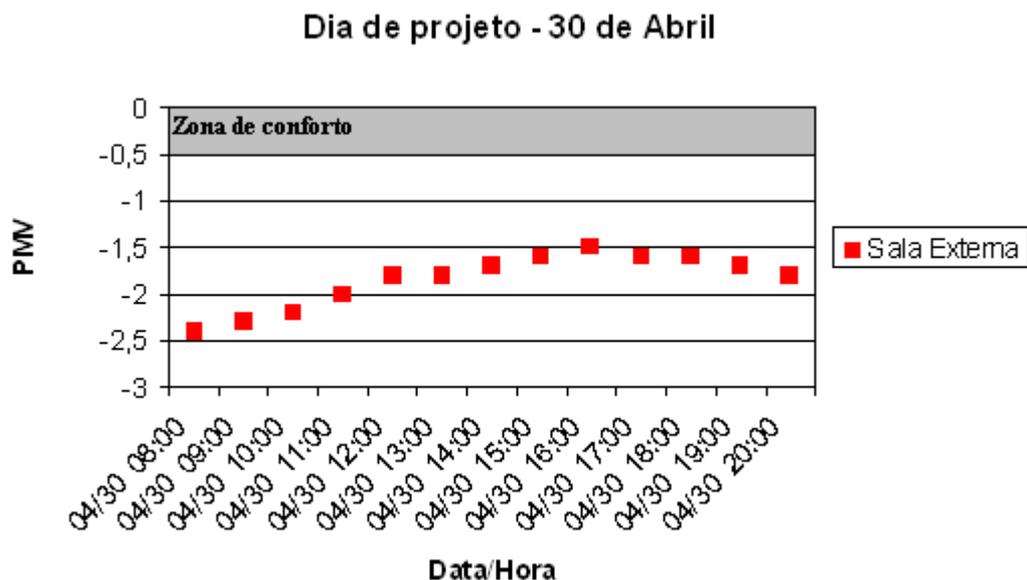


Figura 4.11 - Índices de *PMV* para um dia frio (caso real)

A temperatura interna mínima registrada no verão foi de 26,1 °C entre 8h00min e 9h00min e no inverno a máxima foi de 17,5 °C entre 16h00min e 17h00min, conforme Fig. 4.12 e 4.13. Comparando estas temperaturas com as recomendadas pela NBR-16401, Tabela 3.1, nota-se que, no período de inverno, a sala apresenta temperatura abaixo do recomendado, devido à capacidade do sistema estar mal dimensionada. No verão a situação é diferente, em algumas horas as temperaturas internas possuem condições

apropriadas, pois segundo a NBR - 16401 a temperatura máxima no verão pode ser 26,5°C, embora o recomendável seja um valor entre 23 e 25°C.

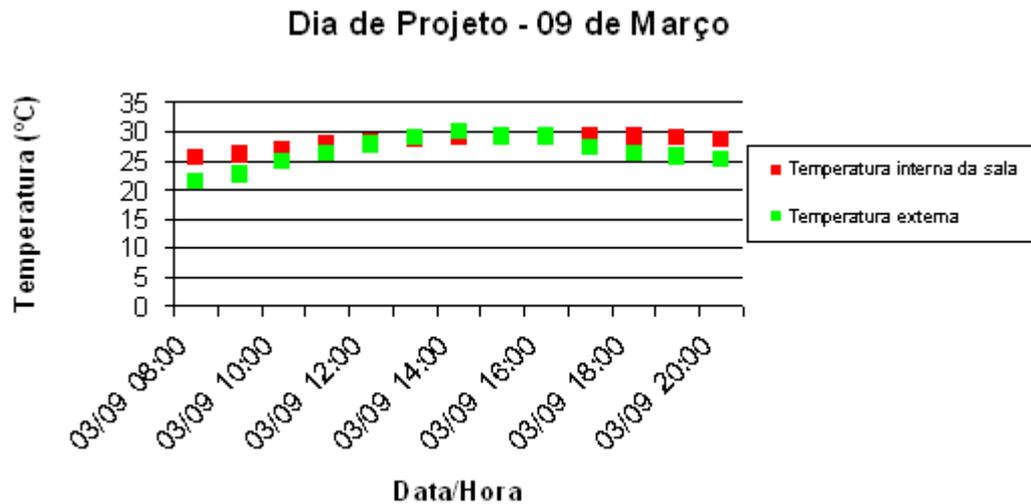


Figura 4.12 - Temperaturas internas de um dia de projeto de verão (caso real sala externa)

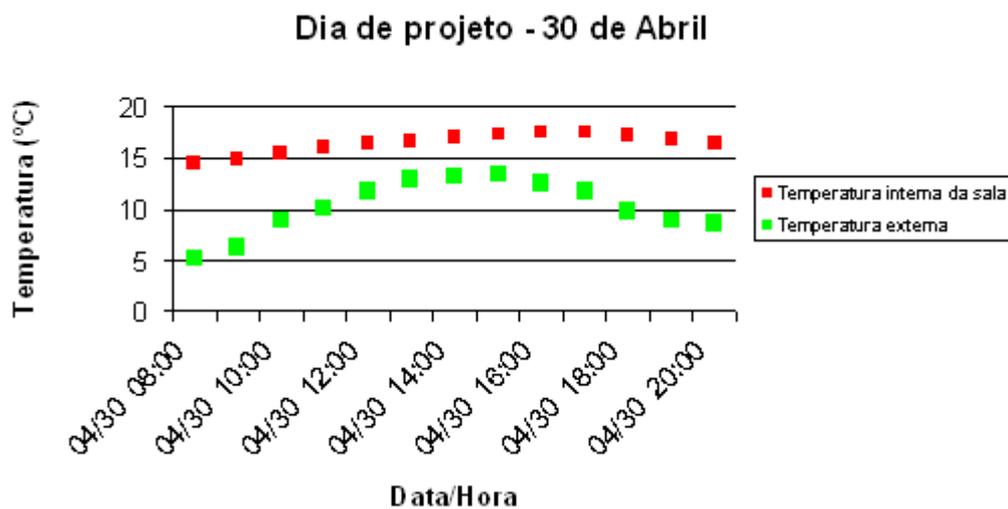


Figura 4.13 - Temperaturas internas de um dia de projeto de inverno (caso real sala externa)

A quantidade anual total de horas de ocupação da sala foi de 3924 h e destas, 2972 h apresentaram níveis de conforto mantendo-se entre os parâmetros estabelecidos de -0,5 a 0,5, e as demais 952 h obtiveram índices que variaram entre 0,6 a 1,9 para o calor e -0,6 a -2,4 para o frio. Estas horas de desconforto são causadas pelo dimensionamento insuficiente do sistema de ar condicionado que é regulado para atender a uma variação mínima de temperatura quando, pela característica de região serrana observam-se mudanças climáticas frequentes durante pequenos intervalos de tempo. Além disto, há a questão pessoal de cada funcionário ligada à sensação de frio ou calor e

que, em determinadas ocasiões, serve como determinante para a operação ou não do sistema de ar condicionado visto à necessidade de atender as solicitações de um número maior de ocupantes.

Outro agravante, quanto ao desconforto, se origina das características construtivas da sala, visto não ser um ambiente inicialmente projetado para a operação de uma área de cobrança, com todas as suas particularidades referentes a número de ocupantes e equipamentos. Para a adequação do ambiente, inicialmente foram feitas alterações no que se refere à colocação de proteção acústica e térmica no teto, iluminação eficiente e instalação de sistema de climatização de ar, mas há de se avaliar novas alternativas a fim de reduzir ao máximo as horas em desconforto.

Igual importância deve ser dada à análise no que se refere às fontes de cargas térmicas oriundas dos equipamentos, iluminação, pessoas, radiação solar, convecção pelas paredes e infiltração solar. Desta forma torna-se possível detectar as maiores fontes geradoras de calor que, neste caso, é proporcionado primeiramente pelas pessoas, motivado pela elevada ocupação por área construída, e, em segundo lugar, pelos equipamentos. O maior percentual é gerado por monitores antigos do tipo tubo CRT (Cathodic Ray Tube). A Tab. 4.7 apresenta os principais ganhos mensais de calor originados na sala externa.

Tabela 4.7 - Ganhos mensais de calor simulados na sala externa (caso real)

Ganhos mensais de calor (kWh)						
	Pessoas	Equipamentos	Iluminação	Radiação solar	Convecção paredes/aberturas	Infiltração de ar
Jan	14800	5528	1698	5263	3229	541
Fev	13648	5086	1562	4407	2811	424
Mar	14800	5528	1698	4565	2012	232
Abr	13603	5031	1545	2684	224	25
Mai	14800	5528	1698	2305	-1179	26
Jun	14800	5528	1698	1607	-2267	0.3
Jul	14755	5473	1681	2051	-1653	6.21
Ago	15376	5749	1766	2817	-1940	44
Set	14179	5252	1613	3076	-1687	29
Out	14224	5307	1630	3295	-727	7
Nov	13648	5086	1562	4586	1154	178
Dez	14179	5252	1613	5062	2304	312
Total anual	172812	64348	19764	41718	2281	1825

Outra avaliação importante diz respeito à demanda mensal relacionada a equipamentos, iluminação e aparelhos de ar condicionado, bem como ao consumo anual de energia elétrica, Tab. 4.8. Nestas análises os equipamentos, representados principalmente por computadores, apresentam o maior índice de demanda visto a grande quantidade de aparelhos ligados e a utilização de noventa e sete monitores de tubo (CRT) os quais consomem cerca de 50% a mais que os demais monitores. O sistema de condicionamento de ar apresenta picos com maior valor de demanda e consumo energético em dias típicos de inverno e verão, visto a necessidade respectivamente de aquecimento e resfriamento. A atividade de resfriamento é responsável pelo maior consumo devido aos ganhos de calor oriundos do metabolismo humano, equipamentos e processos de transferência de calor entre o meio externo com o meio interno. Mesmo em meses característicos de clima mais frio, observa-se a necessidade de resfriamento, isto porque a região, onde se localiza a edificação em estudo, sofre constantes variações climáticas. A Fig. 4.13 apresenta as temperaturas mínimas de um dia de projeto de inverno, com registro de temperaturas baixas, sendo 17,5 °C a máxima temperatura interna registrada neste dia. Cabe salientar que a região apresenta constantes variações de clima, desta forma, ocorrem dias em que as temperaturas atingem níveis mais elevados, mesmo em dias característicos de inverno o que, somado aos ganhos internos de calor, demanda resfriamento da sala a fim de garantir maior conforto. O consumo oriundo da iluminação é menor e não apresenta picos visto a utilização de luminárias eficientes e sistema liga desliga individualizado por posto de trabalho o que possibilita que cada funcionário adapte a iluminação conforme suas necessidades.

Tabela 4.8 - Consumo mensal simulado da sala com energia elétrica (caso real)

Consumo mensal de energia elétrica (kWh)					
	Equipamentos	Iluminação	Sistema de condicionamento de ar		
			Resfriamento	Aquecimento	Total
Jan	5528	1697	6253	86	6339
Fev	5086	1561	5763	64	5827
Mar	5528	1697	5462	157	5619
Abr	5031	1544	2754	440	3194
Mai	5528	1697	1422	1443	2865
Jun	5528	1697	222	2169	2391
Jul	5473	1680	1085	1091	2176
Ago	5749	1765	929	1407	2336
Set	5252	1612	946	1713	2659
Out	5307	1629	2047	613	2660
Nov	5086	1561	4192	318	4510
Dez	5252	1612	5411	219	5630
Consumo total anual	64348	19752	36486	9720	46206

A Tab.4.9 apresenta um comparativo entre os dados reais medidos através do uso de medidores de energia instalados junto aos quadros elétricos da sala de cobrança e os obtidos através da simulação. As leituras abrangem o consumo com iluminação, equipamentos e sistema de condicionamento de ar total, ou seja, aquecimento e resfriamento.

Esta comparação serve para validar os parâmetros simulados e favorece a obtenção de dados o mais próximo possível da realidade do ambiente que está sendo avaliado.

Tabela 4.9 - Comparativo do consumo mensal de energia elétrica medido e simulado

Comparativo do consumo mensal de energia medido e simulado (kWh)						
	Iluminação		Equipamentos		Climatização	
	Medido	Simulado	Medido	Simulado	Medido	Simulado
Jan	1678	1697	5413	5528	6207	6339
Fev	1640	1561	5206	5086	5771	5827
Mar	1697	1697	5363	5528	5660	5619
Abr	1672	1544	4947	5031	3426	3194
Mai	1698	1697	5637	5528	3239	2865
Jun	1631	1697	5544	5528	2373	2391
Jul	1587	1680	5983	5473	2212	2176
Ago	1655	1765	5708	5749	2218	2336
Set	1644	1612	4931	5252	2349	2659
Out	1544	1629	5449	5307	2674	2660
Nov	1641	1561	5224	5086	4486	4510
Dez	1691	1612	5135	5252	5928	5630
Total	19778	19752	64540	64348	46543	46206
Diferença	0.13%		0.30%		0.73%	

b) *prédio - Centro Administrativo (caso real):*

Os dados de conforto dos ocupantes das quinze zonas da edificação são analisados nas Fig. 4.14 e 4.15. Foram extraídos da simulação os índices máximos e mínimos mensais característicos de cada zona térmica no que se refere à sensação de calor e de frio. Todos os ambientes avaliados contam com ventilação natural e não há aparelhos de condicionamento de ar instalados o que, em determinadas zonas, aumenta a incidência de horas de desconforto. Para minimizar o desconforto gerado por temperaturas mais elevadas ou, ao contrário, mais baixas, são utilizados respectivamente ventiladores e estufas. Todavia, ambas as alternativas, além de colaborar para um consumo mais elevado de energia elétrica, atendem a um número reduzido de pessoas.

Características da envoltória, somadas aos níveis de ocupação e equipamentos, além da posição solar e altura da zona térmica em relação ao solo são alguns dos principais parâmetros que colaboram para a maior ou menor quantidade de horas em conforto identificadas em cada uma das zonas térmicas avaliadas.

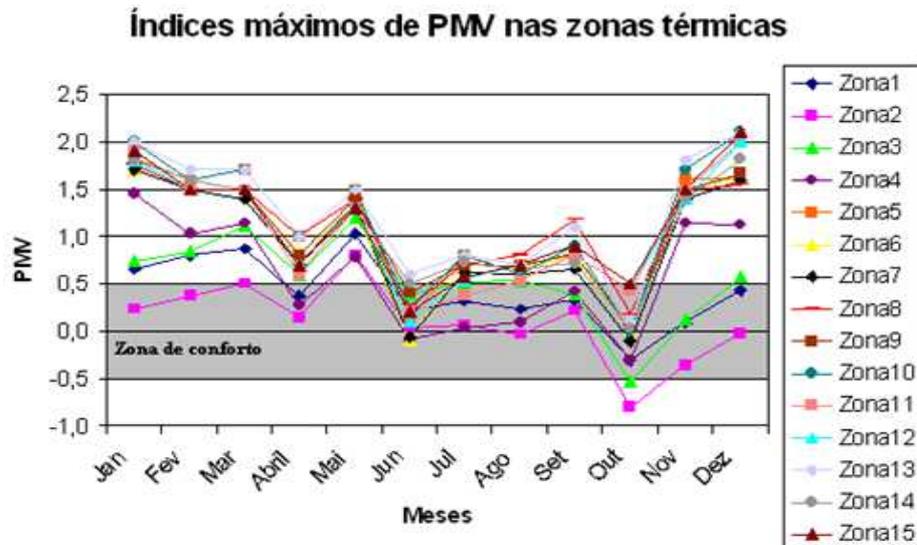


Figura 4.14 - Índices máximos de PMV das quinze zonas térmicas do prédio (caso real)

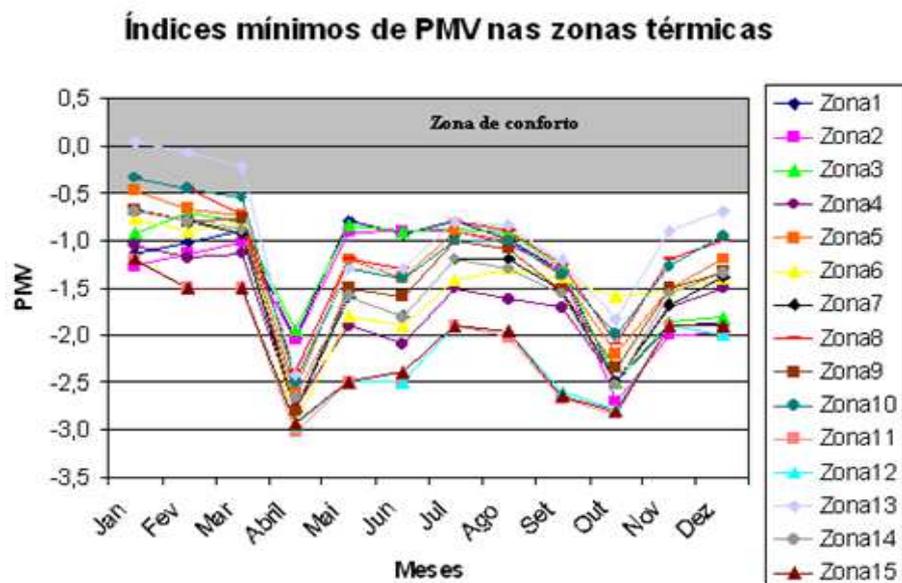


Figura 4.15 - Índices mínimos de PMV das quinze zonas térmicas do prédio (caso real)

A tabela 4.10 apresenta a quantidade de horas durante as quais os ocupantes da edificação estiveram em conforto ou desconforto para cada uma das quinze zonas térmicas avaliadas. O cálculo foi realizado sobre o total de 3322 horas de ocupação anual.

Tabela 4.10 - Total de horas trabalhadas em conforto ou desconforto

Total anual de horas de ocupação em conforto e desconforto nas zonas térmicas				
	Horas em conforto	Horas em desconforto	Percentual de conforto	Percentual de desconforto
Zona 1	2254	1068	68%	32%
Zona 2	2063	1259	62%	38%
Zona 3	2241	1081	67%	33%
Zona 4	1774	1548	53%	47%
Zona 5	2310	1012	70%	30%
Zona 6	1860	1462	56%	44%
Zona 7	2077	1245	63%	37%
Zona 8	2367	955	71%	29%
Zona 9	2184	1138	66%	34%
Zona 10	2307	1015	70%	30%
Zona 11	1721	1601	52%	48%
Zona 12	1740	1582	53%	47%
Zona 13	2322	1000	70%	30%
Zona 14	2117	1205	64%	36%
Zona 15	1703	1619	50%	50%

As zonas 5, 8, 10 e 13 apresentam um percentual de horas em conforto superior às demais, uma vez que estão localizadas em meio a duas outras zonas e contam com maior número de funcionários e equipamentos o que, em meses característicos de clima mais frio, garante um balanço térmico mais positivo. Além disso, há uma menor incidência de radiação solar nestas zonas o que reduz os ganhos de calor em meses característicos de clima quente. As zonas 4, 6, 7, 9 e 14 pertencem respectivamente ao segundo, terceiro e sexto andares e se localizam nas extremidades norte e sul onde ocorre menor incidência de raios solares, além de abrigarem menor número de ocupantes e equipamentos, fatores que colaboram para um aumento de horas em desconforto. As zonas 1, 2 e 3, pertencentes ao primeiro andar, estão localizadas próximas ao solo, o que favorece maior conforto em dias mais quentes, porém em dias característicos de clima mais frio os níveis de desconforto pelo frio são maiores que nas demais zonas devido à menor incidência de raios solares e ao menor número de ocupantes e equipamentos, o que reduz os ganhos de calor internos. Finalmente as zonas 11, 12 e 15, pertencentes ao quarto e sétimo andares são as que possuem maiores índices de desconforto devido principalmente a estarem sob o telhado e não apresentarem proteção térmica no forro.

A temperatura máxima registrada no inverno, mês característico junho, foi de 23°C às 17h00min na zona 13, quinto andar, local este favorecido pela grande incidência solar. No verão, mês característico janeiro, a mínima foi de 18 °C às 8h00min na zona 15, sétimo andar. A baixa temperatura nas primeiras horas do dia de verão é proporcionada pelo nevoeiro que se forma na região serrana em determinados períodos favorecida por precipitações pluviométricas. Nas Fig. 4.16 e 4.17 são apresentadas as máximas e mínimas temperaturas obtidas para as quinze zonas térmicas. Comparando estas temperaturas com as recomendáveis pela NBR-16401, Tabela 3.1, nota-se que no período de inverno algumas zonas apresentam temperaturas acima das recomendadas, devido à maior concentração de pessoas e equipamentos na área avaliada e grande incidência solar. No verão, favorecidas pelas variações climáticas características de região serrana, em algumas horas as temperaturas internas apresentam-se abaixo dos índices regulamentados pela norma brasileira que indica como recomendável uma variação de 23 a 25°C, podendo chegar a 26,5°C.

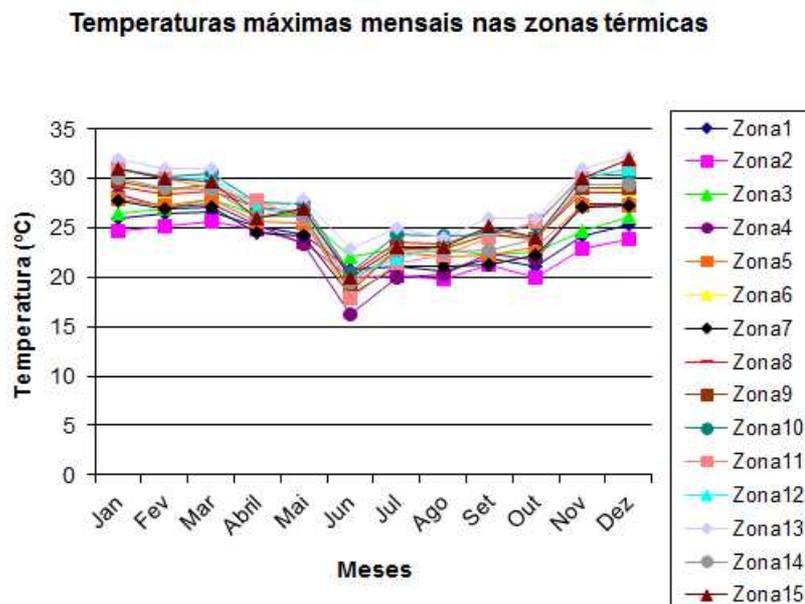


Figura 4.16 - Temperaturas internas máximas das quinze zonas térmicas do prédio (caso real)

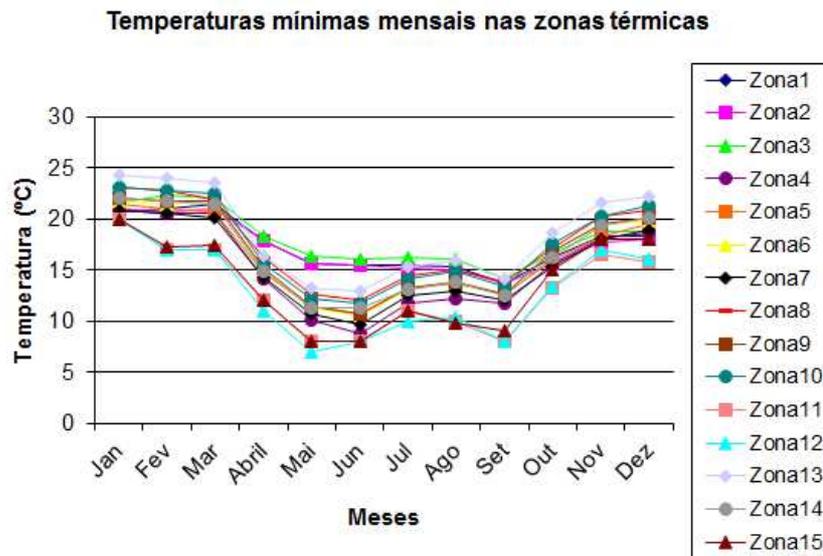


Figura 4.17 - Temperaturas internas mínimas das quinze zonas térmicas do prédio (caso real)

A Tab.4.11 apresenta os ganhos médios mensais de calor obtidos através das pessoas, equipamentos, iluminação, convecção pelas paredes e radiação solar.

Tabela 4.11 - Ganhos médios mensais de calor nas zonas térmicas (kWh)

Ganhos médios mensais de calor nas zonas térmicas (kWh)							
	Pessoas	Iluminação	Equipamentos	Radiação	Convecção	Infiltração	Total médio
Zona 1	511	1259	778	643	1282	93.1	4566
Zona 2	160	927	573	343	1240	98.4	3341
Zona 3	0	76	2145	893	1251	13	4378
Zona 4	319	1126	587	459	1219	114.9	3825
Zona 5	1597	3313	1866	891	491	104.6	8263
Zona 6	894	265	164	995	1100	77.1	3495
Zona 7	1498	2584	566	473	911	80.2	6112
Zona 8	2668	2650	1434	369	548	72.7	7742
Zona 9	749	1967	1169	997	760	123.3	5765
Zona10	1759	3114	1909	1144	326	102.3	8354
Zona11	489	1789	1105	374	-671	134.2	3220
Zona12	717	1259	778	914	-441	112.4	3339
Zona13	3453	3048	1883	1388	255	72.5	10099
Zona14	1564	1432	885	583	771	86.1	5321
Zona15	945	1722	706	589	1398	108.6	5469

As fontes de geração de calor contribuem para a elevação das temperaturas internas o que implica também nos índices de conforto do ambiente.

No que se refere ao consumo mensal relacionado a equipamentos e iluminação, bem como ao consumo anual de energia elétrica, a Tab. 4.12 apresenta o consumo médio mensal por zona térmica, cujos dados mensais totais constam no apêndice 01. A Tab 4.13 demonstra o somatório dos valores consumidos mensalmente para cada zona térmica. Nestas análises os equipamentos, representados principalmente por computadores, apresentam o maior consumo devido a grande quantidade de aparelhos ligados. Exceção é feita para a zona 3 na qual os equipamentos são representados pelo elevador, bomba d'água, compressor, nobreak e gerador. Nos meses de Junho, Julho e Agosto há um maior consumo no que se refere aos equipamentos, uma vez que, são utilizadas estufas elétricas para minimizar o desconforto provocado pelo frio. Da mesma forma, nos dias mais quentes, ventiladores de parede são ligados a fim de proporcionar maior conforto aos ocupantes.

Tabela 4.12 - Consumo médio das quinze zonas térmicas com energia elétrica (caso real)

Média do consumo de energia elétrica por zona (kWh)		
	Iluminação	Equipamentos
Zona 1	369	778
Zona 2	271	572.5
Zona 3	22	2145
Zona 4	330	587
Zona 5	970	1866
Zona 6	78	164
Zona 7	566	757
Zona 8	776	1433
Zona 9	576	1169
Zona 10	912	1909
Zona 11	523	1105
Zona 12	369	778
Zona 13	893	1882
Zona 14	419	885
Zona 15	504	706
Total médio	7578	16737

O consumo da iluminação apresenta pequena variação apenas motivada por diferenças no número de horas mensais em que a edificação foi ocupada. A utilização de

luminárias eficientes e sistema individualizado de liga/desliga proporcionam maior conforto ao usuário, pois, desta forma, cada um adapta conforme suas necessidades, além de facilitar o uso da iluminação natural visto que, com o uso dos brises, não há incidência direta dos raios solares nos postos de trabalho, mas a luminosidade do ambiente é favorecida.

4.13 - Tabela com o consumo mensal simulado de energia elétrica no prédio administrativo.

Consumo mensal de energia elétrica (kWh)		
	Equipamentos	Iluminação
Jan	17200	8073
Fev	15726	7385
Mar	17200	8073
Abr	15234	7166
Mai	17200	8073
Jun	17200	8073
Jul	16709	7854
Ago	17937	8418
Set	15971	7510
Out	16463	7729
Nov	15726	7385
Dez	15971	7510
Total	198537	93250
Total anual	291787 kWh	

Os valores obtidos através das simulações realizadas, tanto da sala externa quanto do prédio, referentes ao consumo de energia elétrica, estão coerentes com os valores avaliados mensalmente na fatura emitida pela concessionária fornecedora de energia. O valor total da fatura abrange o consumo não só da sala externa e do prédio, mas também de uma área de depósito de utilidades domésticas e motocicletas, um setor de mecânica e lavagem de veículos, uma sala de manutenção de equipamentos de informática, um arquivo morto onde são guardados todos os documentos da empresa e todos os equipamentos responsáveis pelo monitoramento diário dos sistemas internos de informática, vendas *on line* e cobrança, os quais permanecem ligados durante as 24 horas do dia. Para melhor avaliar o conforto térmico e o consumo da sala de cobrança e das quinze zonas térmicas do prédio, não foram computados, na simulação, os equipamentos,

luminárias e pessoas que ocupam estas outras áreas mencionadas para, assim, evitar equívocos na análise dos dados e também por serem externas ao prédio avaliado, não interferindo no conforto das zonas avaliadas, nem colaborando para maiores ganhos internos de calor.

A soma dos valores representativos do consumo de energia elétrica obtidos nas faturas atingiu, no ano de 2012, um total de 988.539 kWh. Através das simulações foi possível identificar que cerca de 30% foram consumidos pelas quinze zonas térmicas avaliadas no prédio, 13% pela sala externa e os restantes 57% são decorrentes das atividades desempenhadas nos demais setores externos ao prédio e equipamentos de monitoramento do sistema de informática da empresa.

Estes dados podem ser validados através da comparação dos resultados obtidos através da simulação com os obtidos mensalmente por meio das medições realizadas com medidores instalados nos quadros elétricos na sala representada pela zona térmica 9, conforme Tab.4.14.

Tabela 4.14 - Comparativo do consumo mensal de energia elétrica medido e simulado na zona 9

Consumo de energia elétrica na Zona Térmica 9 (kWh)				
	Iluminação		Equipamentos	
	Medido	Simulado	Medido	Simulado
Jan	564	599	1250	1216
Fev	539	548	1038	1111
Mar	571	599	1222	1216
Abr	539	531	1034	1077
Mai	574	599	1174	1216
Jun	585	599	1212	1216
Jul	594	582	1142	1181
Ago	590	624	1217	1268
Set	554	557	1094	1129
Out	569	573	1158	1164
Nov	548	548	1100	1111
Dez	540	557	1115	1129
Total Anual	6767	6914	13756	14033

Os valores obtidos, através da simulação do caso real, comparados com os obtidos mensalmente através das medições realizadas com o uso de medidores instalados junto aos quadros elétricos responsáveis pelos sistemas de iluminação e equipamentos na

zona térmica 9, servem para validar a simulação e permitir maior proximidade dos dados obtidos com os reais ocorridos na edificação em estudo. Através da validação dos resultados obtidos nas simulações iniciais do caso real, torna-se possível proceder na avaliação de novas alternativas que proporcionem maior economia de energia sem, contudo, comprometer o conforto térmico dos ambientes.

4.4 SIMULAÇÕES DA SALA EXTERNA

Como a sala externa de cobrança apresenta elevado número de ocupantes e equipamentos e conta com um sistema de climatização instalado, é relevante buscar alternativas que auxiliem na garantia da melhora nos índices de conforto bem como minimizem os custos mensais com o consumo de energia elétrica. Desta forma foram realizadas simulações com diferentes alternativas de modo a buscar a que melhor atenda às necessidades da zona térmica.

4.4.1 Termostato do Sistema *HVAC* da Sala Externa - Caso 1

Esta simulação foi realizada tendo como base o caso real, sendo que foram mantidas as mesmas características construtivas levantadas *in loco* e detalhadas no Item 4.3.2. O sistema de *HVAC*, tipo *Split* também foi mantido, uma vez que a atual instalação apresenta pouca geração de ruído já que, o condensador dos aparelhos está instalado na área externa e apenas a unidade evaporadora se encontra no interior da sala. Os valores de temperatura regulados para o termostato do sistema de *HVAC*, anteriormente nas faixas 22 °C e 24 °C, foram ajustados para um intervalo compreendido entre 20°C e 23°C, isto com o objetivo de manter uma maior aproximação com os valores ideais de temperatura interna estabelecidos pela NBR-16401, Tabela 3.1.

A alteração proporcionou uma melhora significativa para os índices de conforto da sala. Foram obtidas 3421 horas em conforto e 503 horas em desconforto. Esta melhora nos índices de conforto é justificada principalmente pelo ajuste do termostato para índices de temperatura compreendidos dentro das faixas de conforto pré-estabelecidas pela norma brasileira e, também por abranger uma variação maior de temperaturas características da região, com oscilações frequentes e em variadas épocas do ano. Estas temperaturas de regulação do termostato foram obtidas após inúmeras simulações com diferentes índices e, embora se tenha obtido menor consumo com o sistema de ar

condicionado em algumas das simulações, isto porque a regulagem do termostato utilizava faixas de temperaturas maiores que a usada neste caso, esta variação compreendida entre 20 °C e 23 °C foi a que garantiu maior quantidade de horas com índices de conforto para os ocupantes da sala.

As Fig. 4.18 e 4.19 apresentam um demonstrativo do PMV dos dois dias de projeto, nove de março, cujos índices de calor foram mais elevados, e trinta de abril, com maior presença de desconforto causado pelo frio.

Como não há mudanças nas características construtivas, nem em quantidade de equipamentos ou número de ocupantes, os dados referentes aos ganhos de calor da zona térmica continuam os mesmos descritos para o caso real Tab. 4.7.

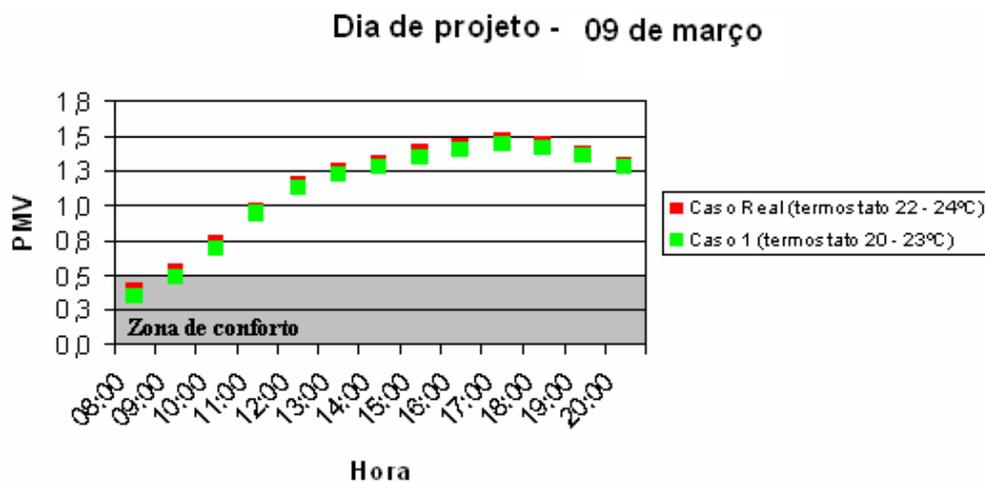


Figura 4.18 - Índices de PMV para o dia de projeto de verão com variação nos parâmetros do termostato (caso 1)

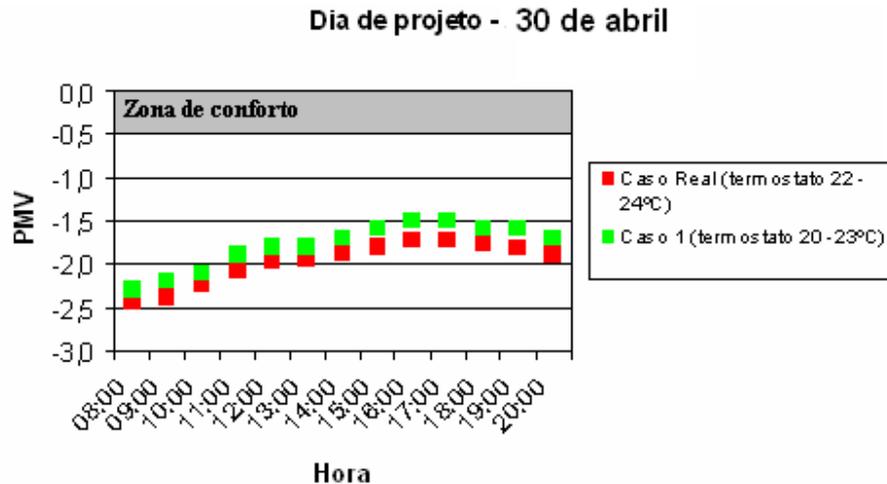


Figura 4.19 - Variação dos índices de PMV para um dia frio obtidos com variação de temperatura no termostato (caso 1)

O consumo mensal com energia elétrica sofreu uma pequena redução, embora o consumo com o processo de resfriamento tenha aumentado, a necessidade de aquecimento foi bem inferior ao caso real o que garantiu uma redução de 812 kWh anual e mais horas em conforto para os ocupantes da sala, conforme Tab.4.15. No caso real o aquecimento só parava quando a temperatura atingia níveis de 22 °C, no caso 1 este valor baixou para 20°C permitindo que o sistema fique maior tempo desligado sem comprometer o bem estar dos ocupantes. Ao contrário, a temperatura para o sistema de resfriamento foi alterada de 24°C no caso real para 23°C no Caso 1. Isto faz com que os aparelhos de ar condicionado fiquem mais tempo ligados quando em temperaturas mais elevadas garantindo maior tempo de conforto aos ocupantes. Mesmo em meses mais característicos de inverno, o sistema de resfriamento é utilizado devido aos ganhos internos de calor oriundos principalmente da grande concentração de pessoas e equipamentos.

Tabela 4.15 - Consumo mensal da sala com energia elétrica. Caso 1

Consumo mensal de energia elétrica (kWh)					
	Equipamentos	Iluminação	Sistema de condicionamento de ar		
			Resfriamento	Aquecimento	Total
Jan	5528	1697	7185	0	7185
Fev	5086	1561	6643	1	6644
Mar	5528	1697	6400	0	6400
Abr	5031	1544	3460	16	3476
Mai	5528	1697	1853	198	2051
Jun	5528	1697	441	409	850
Jul	5473	1680	1563	68	1631
Ago	5749	1765	1397	117	1514
Set	5252	1612	1301	315	1616
Out	5307	1629	2777	11	2788
Nov	5086	1561	4973	1	4974
Dez	5252	1612	6265	0	6265
Consumo total anual	64348	19752	44258	1136	45394

4.4.2 Espessura do Vidro - Sala Externa - Caso 2

Esta simulação teve como base o caso real, condição real, em relação às características termofísicas dos materiais construtivos, mostrados na Tab.4.7. Contudo, em relação ao sistema de *HVAC* foram utilizados os parâmetros descritos no caso 1 (ajuste do termostato) visto ser uma adequação de fácil execução sem necessidade de qualquer tipo de investimento além de ter garantido significativas melhoras no ambiente interno da sala.

Para o caso 2, a modificação ocorreu na espessura do vidro utilizado nas janelas, o qual foi alterado de 3 mm para 6 mm, cujas características físicas são apresentadas na Tab.4.16. Foi mantido o vidro duplo uma vez que o conjunto de duas ou mais chapas de vidro intercaladas por uma câmara, neste caso, de ar, auxiliam na redução das trocas térmicas através dos vidros, que ocorrem através de condução, convecção e radiação, para o interior do ambiente.

O vidro duplo comum de 6 mm com 14 mm de ar entre um vidro e outro apresentou uma melhora nos índices de conforto. As Fig. 4.20 e 4.21 apresentam os índices de conforto para os dias de projeto. Foram atingidas 3429 horas em conforto, porém 495 horas continuam ainda em níveis de desconforto.

Tabela 4.16 - Características físicas e óticas do vidro 6 mm simulado na sala externa. Caso 2

Vidro comum claro										
	espessura (mm)	τ	ρ_s exterior	ρ_s interior	τ_v	ρ_{sv} exterior	ρ_{sv} interior	ε exterior	ε interior	λ (W/(m K))
Vidro	6	0,78	0,071	0,071	0,88	0,0799	0,0799	0,84	0,84	0,9

Dia de projeto - 09 de março

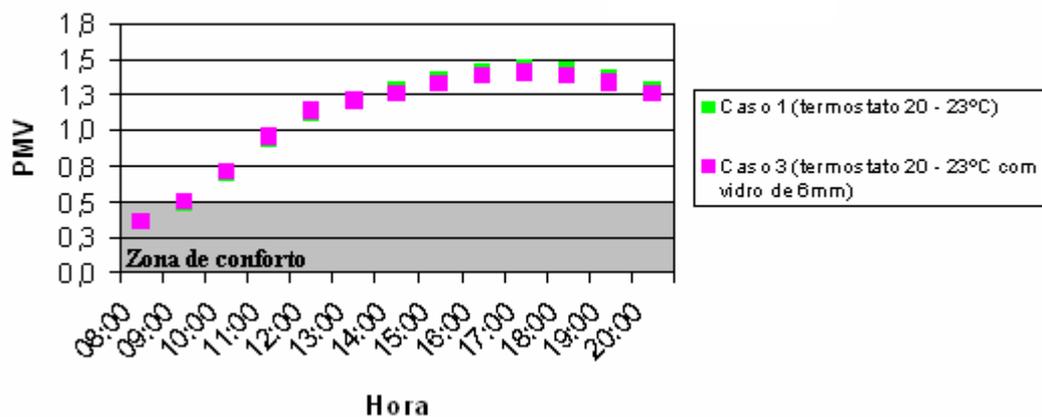


Figura 4.20 - Índices de PMV para o dia de projeto de verão com variação na espessura do vidro (caso 2)

Dia de projeto - 30 de abril

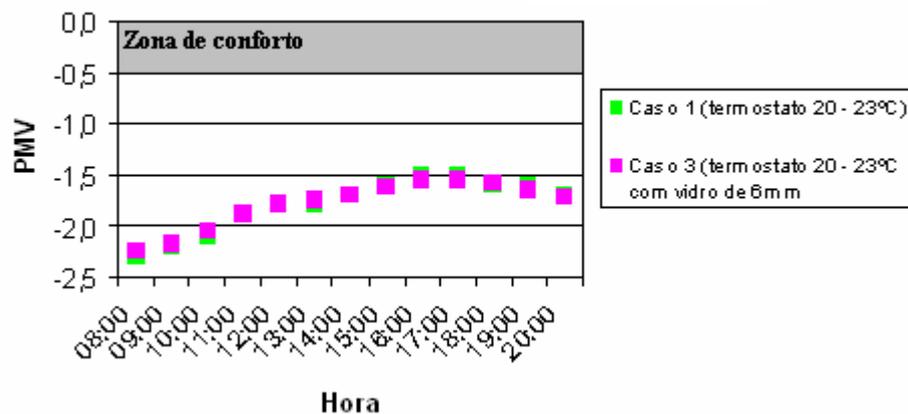


Figura 4.21 - Variação dos índices de PMV para um dia frio com variação na espessura do vidro (caso 2)

A melhora dos índices de conforto com a alteração da espessura do vidro é garantida pelo menor ganho de calor oriundo dos processos de radiação. Contudo observa-se aumento nos ganhos por convecção originados por uma maior resistência

térmica das janelas. A variação nos valores mensais é pequena e não tem relevância sobre o aumento das horas em conforto. A Tab.4.17 apresenta um comparativo entre as médias mensais de ganhos de calor com o tipo de vidro do caso real (3mm) e o simulado (6mm).

Tabela 4.17 - Variação de ganhos de calor por radiação, convecção e infiltração de ar (kWh)

Ganhos mensais de calor (kWh)						
	Radiação solar (caso real)	Radiação solar (caso 2)	Convecção (caso real)	Convecção (caso 2)	Infiltração de ar (casoreal)	Infiltração de ar (caso2)
Jan	5263	4664	3229	4204	541	619
Fev	4407	3906	2811	3677	424	581
Mar	4565	4046	2012	2802	232	365
Abr	2684	2378	224	686	25	28
Mai	2305	2043	-1179	-770	26	28
Jun	1607	1424	-2267	-1946	0.3	1
Jul	2051	1818	-1653	-1275	6.21	7
Ago	2817	2496	-1940	-1538	44	46
Set	3076	2726	-1687	-1293	29	30
Out	3295	2921	-727	-335	7	27
Nov	4586	4065	1154	1747	178	257
Dez	5062	4486	2304	3015	312	432
Total anual	41718	36973	2281	8974	1825	2421

Devido à maior espessura do vidro, os ganhos internos por radiação são reduzidos e, nos meses característicos de verão, a redução é maior, pois neste período ocorre maior incidência solar no lado sul da edificação onde estão localizadas as janelas.

Ocorreu também uma pequena redução no consumo final de energia, conforme apresentado na Tab 4.18, favorecida pela diminuição do tempo em uso do sistema de ar condicionado motivado por um menor ganho interno de calor proveniente do meio externo.

Tabela 4.18 - Consumo mensal da sala com energia elétrica (vidro 6 mm). Caso 2

Consumo mensal de energia elétrica (kWh)					
	Equipamentos	Iluminação	Sistema de condicionamento de ar		
			Resfriamento	Aquecimento	Total
Jan	5528	1697	7154	0	7154
Fev	5086	1561	6618	1	6619
Mar	5528	1697	6374	0	6374
Abr	5031	1544	3447	15	3462
Mai	5528	1697	1847	197	2044
Jun	5528	1697	439	408	847
Jul	5473	1680	1559	68	1627
Ago	5749	1765	1389	116	1505
Set	5252	1612	1292	314	1606
Out	5307	1629	2766	11	2777
Nov	5086	1561	4949	1	4950
Dez	5252	1612	6237	0	6237
Consumo total anual	64348	19752	44071	1131	45202

4.4.3 Proteção Solar Externa na Janela (Brise) Sala Externa - Caso 3

Nesta simulação foram inseridas proteções solares, sobre as janelas na parte externa da sala, com o objetivo de impedir a incidência direta de raios solares no interior do ambiente, minimizando os ganhos internos pelo processo de radiação. As demais características termofísicas dos materiais construtivos permaneceram as mesmas do caso real (Tabela 4.7) e o sistema de condicionamento de ar utilizado é o ajustado para o caso 1.

Com a utilização de brises foram obtidas 3434 horas em conforto e 490 horas continuaram em desconforto. As Fig. 4.22 e 4.23 apresentam os valores de PMV para os dias de projeto nove de março e trinta de abril. Observa-se que a melhora ocorre em dias característicos de verão, quando o brise minimiza os ganhos internos de calor provenientes da radiação solar. Em dias de clima frio, ao contrário, eles bloqueiam a passagem dos raios solares diminuindo os ganhos de calor e exigindo maior necessidade de aquecimento do sistema de climatização.

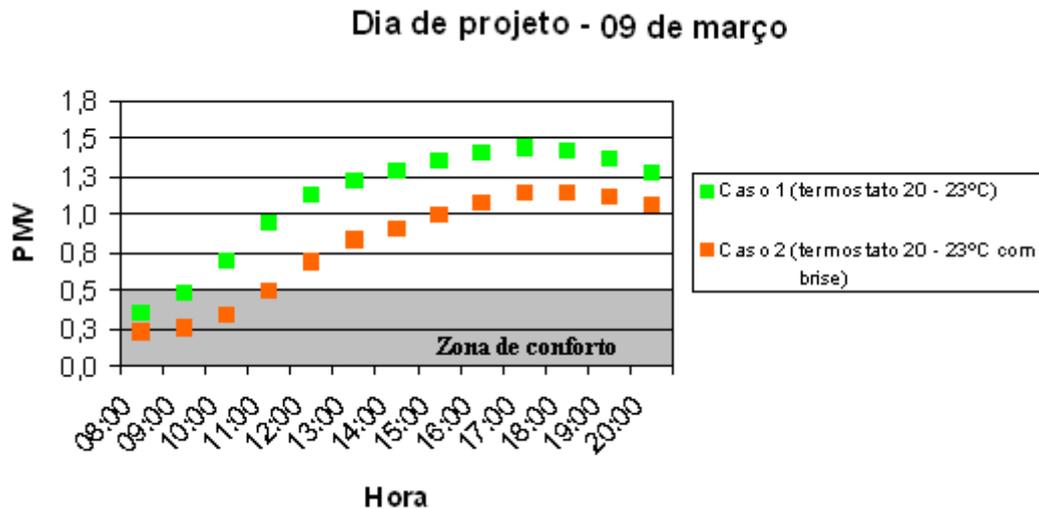


Figura 4.22 - Índices de PMV para o dia de projeto de verão com instalação de proteção solar - Brise (caso 3)

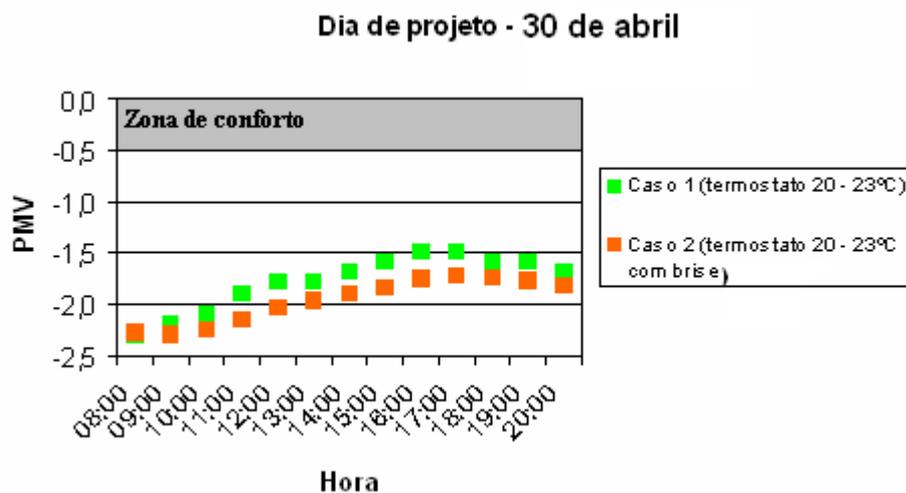


Figura 4.23 - Variação dos índices de PMV para um dia frio com instalação de proteção solar - Brise (caso 3)

A proteção solar com brise diminuiu os ganhos internos de calor conforme Tab.4.19. Os ganhos por radiação apresentam índices menores em meses de verão visto a localização das aberturas no lado sul. Os ganhos de calor, por infiltração de ar, apresentam um aumento significativo, uma vez que, o brise impede a passagem direta de ar para a abertura. Contudo, os valores referentes aos ganhos por convecção apresentam valores mais elevados, pois os raios solares incidentes sobre o brise aquecem esta estrutura que, pelo processo de convecção, transfere calor para o interior da sala.

A redução nos ganhos internos também interfere no consumo de energia do sistema de resfriamento e aquecimento, colaborando para uma redução do consumo da sala com energia elétrica Tab.4.20.

Tabela 4.19 - Variação de ganhos de calor por radiação, convecção e infiltração de ar (kWh).

Ganhos mensais de calor (kWh)						
	Radiação solar (caso real)	Radiação solar (caso 3)	Convecção (caso real)	Convecção (caso 3)	Infiltração de ar (caso real)	Infiltração de ar (caso 3)
Jan	5263	2377	3229	2871	541	791
Fev	4407	1964	2811	2584	424	667
Mar	4565	1929	2012	1859	232	400
Abr	2684	1113	224	264	25	52
Mai	2305	913	-1179	-1049	26	62
Jun	1607	633	-2267	-2084	0.3	2
Jul	2051	797	-1653	-1506	6.21	10
Ago	2817	1136	-1940	-1887	44	58
Set	3076	1304	-1687	-1683	29	41
Out	3295	1468	-727	-783	7	23
Nov	4586	2118	1154	905	178	301
Dez	5062	2393	2304	1976	312	471
Total anual	41718	18145	2281	1466	1825	2878

Tabela 4.20 - Consumo mensal da sala com energia elétrica (proteção solar). Caso 3

Consumo mensal de energia elétrica (kWh)					
	Equipamentos	Iluminação	Sistema de condicionamento de ar		
			Resfriamento	Aquecimento	Total
Jan	5528	1697	6664	1	6665
Fev	5086	1561	6197	1	6198
Mar	5528	1697	5985	0	5985
Abr	5031	1544	3246	19	3265
Mai	5528	1697	1736	216	1952
Jun	5528	1697	397	446	843
Jul	5473	1680	1446	76	1522
Ago	5749	1765	1252	131	1383
Set	5252	1612	1146	342	1488
Out	5307	1629	2535	13	2548
Nov	5086	1561	4564	2	4566
Dez	5252	1612	5791	1	5792
Consumo total anual	64348	19752	40959	1248	42207

4.4.4 Revestimento Interno Sala Externa - Caso 4

Nestas simulações foram acrescentados materiais para proporcionar o revestimento interno da sala, as demais características termofísicas dos materiais construtivos permaneceram as mesmas do caso real (Tabela 4.6). Os revestimentos foram utilizados na parte interna das paredes externas.

Foi utilizado um revestimento com baixa condutividade térmica (λ), Tab. 4.21, propriedade que depende da densidade do material (ρ) e representa sua capacidade de conduzir menor ou maior quantidade de calor por unidade de tempo, com o objetivo de diminuir a quantidade de calor transferida entre as superfícies.

Tabela 4.21 - Características termofísicas dos materiais utilizados no revestimento interno

Materiais		espessura (mm)	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m K))	C (J/(kg))	α_s -	ε -
REVESTIMENTO INTERNO (sala cobrança)	Gesso acartonado	10	750	0,35	840	0,2	0,9
	Poliestireno (EPS 10 mm)	10	15	0,04	1420	0,2	0,9

O sistema de *HVAC* permaneceu o mesmo do caso 1. Por se tratar de uma única sala, foram realizadas diversas simulações com o objetivo de identificar qual a interferência deste revestimento em cada uma das quatro paredes no que se refere à diminuição dos ganhos de calor influenciada pela localização da construção. A Tab. 4.22 apresenta o comparativo obtido do total de ganhos em cada uma das paredes, bem como o valor referente à utilização do revestimento em todas as quatro paredes da edificação. As paredes localizadas a norte e sul apresentam maiores ganhos por convecção devido apresentarem maior área e, principalmente em meses de inverno a temperatura interna da edificação está mais aquecida que o meio externo sendo os ganhos de calor negativos, do contrário, em épocas mais quentes os valores são positivos visto a temperatura externa estar mais elevada que o meio interno da sala.

Tabela 4.22 - Comparativo dos ganhos por radiação, convecção e infiltração nas paredes da sala externa

Ganhos mensais de calor (kWh)							
Parede Norte				Parede Sul			
	Radiação	Convecção	Infiltração		Radiação	Convecção	Infiltração
Jan	458	283	408	Jan	127	144	388
Fev	388	237	195	Fev	106	119	195
Mar	409	143	124	Mar	110	70	144
Abr	242	-41	6	Abr	65	-23	6
Mai	214	-182	7	Mai	55	-98	7
Jun	152	-284	1	Jun	38	-151	1
Jul	192	-244	6	Jul	49	-131	6
Ago	258	-273	31	Ago	68	-148	31
Set	270	-222	16	Set	74	-118	16
Out	295	-149	4	Out	79	-84	4
Nov	393	63	66	Nov	111	28	166
Dez	436	172	298	Dez	122	85	298
Total anual	3707	-497	1162	Total anual	1004	-307	1282

Parede Leste				Parede Oeste			
	Radiação	Convecção	Infiltração		Radiação	Convecção	Infiltração
Jan	58	35	308	Jan	69	43	308
Fev	49	29	195	Fev	59	38	195
Mar	52	17	124	Mar	62	25	124
Abr	31	-7	6	Abr	36	-4	6
Mai	27	-26	7	Mai	32	-26	7
Jun	19	-39	1	Jun	23	-43	1
Jul	24	-34	6	Jul	29	-36	6
Ago	33	-38	31	Ago	39	-40	31
Set	34	-31	16	Set	41	-33	16
Out	37	-22	4	Out	44	-23	4
Nov	50	6	66	Nov	59	9	66
Dez	55	20	198	Dez	66	25	198
Total anual	469	-90	962	Total anual	559	-66	962

Parede Norte/Sul				Parede Norte/Sul e Leste/Oeste			
	Radiação	Convecção	Infiltração		Radiação	Convecção	Infiltração
Jan	585	427	408	Jan	5262	506	508
Fev	494	356	295	Fev	4406	423	395
Mar	519	213	124	Mar	4564	255	224
Abr	307	-64	6	Abr	2684	-75	26
Mai	269	-279	7	Mai	2305	-331	27
Jun	190	-436	1	Jun	1607	-518	1
Jul	241	-375	6	Jul	2051	-444	6
Ago	326	-421	31	Ago	2817	-499	51
Set	344	-340	26	Set	3076	-404	36
Out	374	-232	8	Out	8295	-277	8
Nov	504	90	106	Nov	4586	105	166
Dez	558	257	238	Dez	5062	302	298
Total anual	4711	-804	1256	Total anual	46715	-960	1746

A utilização de revestimento nas quatro paredes garantiu a obtenção de 3538 horas em conforto, ou seja, aproximadamente 91% do total de horas de ocupação da sala, e 386 horas em desconforto, o que representa cerca de 9% do total de horas em que o ambiente está sendo ocupado. As Fig 4.24 e 4.25 apresentam os dados referentes ao PMV dos dias de projeto.

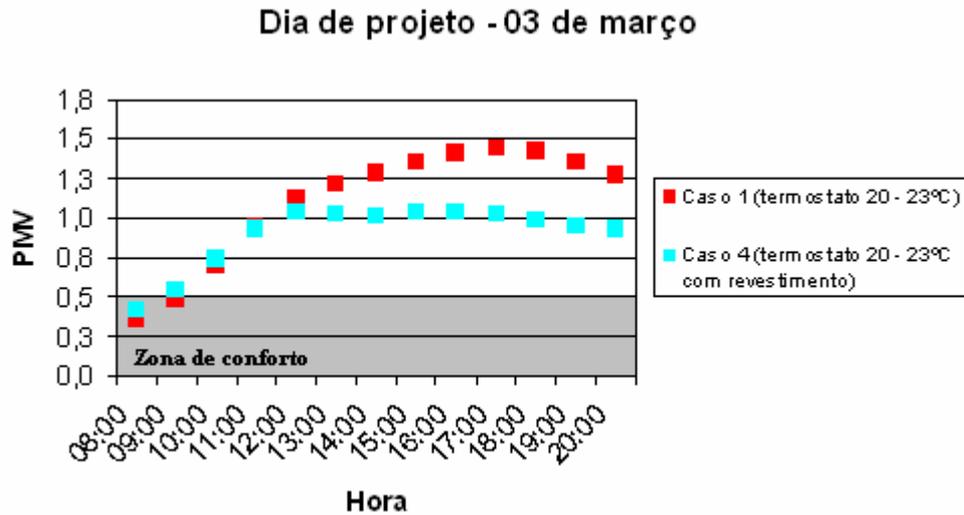


Figura 4.24 - Índices de PMV para o dia de projeto de verão com revestimento interno nas paredes externas (caso 4)

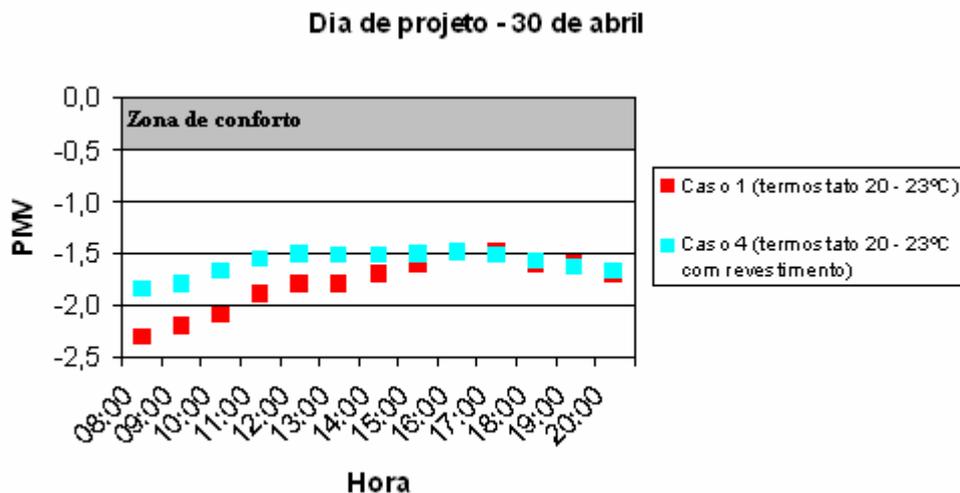


Figura 4.25 - Variação dos índices de PMV para um dia frio com revestimento interno nas paredes externas (caso 4)

Como os ganhos de calor foram reduzidos, o consumo final do sistema de ar condicionado também sofreu significativa redução, conforme apresentado na Tab. 4.23.

Tabela 4.23 - Consumo mensal da sala com energia elétrica (revestimento). Caso 4

Consumo mensal de energia elétrica (kWh)					
	Equipamentos	Iluminação	Sistema de condicionamento de ar		
			Resfriamento	Aquecimento	Total
Jan	5528	1697	6958	0	6958
Fev	5086	1561	6423	1	6424
Mar	5528	1697	6224	0	6224
Abr	5031	1544	3429	9	3438
Mai	5528	1697	1846	147	1993
Jun	5528	1697	478	298	776
Jul	5473	1680	1592	47	1639
Ago	5749	1765	1375	77	1452
Set	5252	1612	1244	229	1473
Out	5307	1629	2716	8	2724
Nov	5086	1561	4757	1	4758
Dez	5252	1612	5986	0	5986
Consumo total anual	64348	19752	43028	817	43845

4.4.5 Monitores - Caso 5

Nesta simulação foram mantidas as mesmas características construtivas detalhadas no Item 4.3.2. A regulagem do termostato manteve os intervalos admitidos no Item 4.4.1. Foram substituídos os 97 monitores de tubo (CRT) por modelos de LCD.

A alteração atingiu 3423 horas de conforto e 501 em desconforto, índices muito próximos aos atingidos com a regulagem do termostato, contudo obteve-se redução no consumo de energia elétrica conforme Tab.4.24.

A redução do consumo anual com a troca dos monitores foi de 13016kWh, favorecida pela tecnologia LCD que consome cerca de 50% menos do que os monitores tipo tubo, além disso, o calor gerado e dissipado para o ambiente também é inferior aos antigos modelos, o que colaborou para diminuir a necessidade de resfriamento em 3521kWh anuais. No entanto, o aquecimento sofreu um aumento de 271kWh anuais.

Tabela 4.24 - Consumo mensal da sala com energia elétrica (monitores). Caso 5

Consumo mensal de energia elétrica (kWh)					
	Equipamentos	Iluminação	Sistema de condicionamento de ar		
			Resfriamento	Aquecimento	Total
Jan	4410	1697	6818	0	6818
Fev	4057	1561	6303	1	6304
Mar	4410	1697	6024	0	6024
Abr	4013	1544	3134	19	3153
Mai	4410	1697	1630	244	1874
Jun	4410	1697	300	513	813
Jul	4366	1680	1304	86	1390
Ago	4586	1765	1137	151	1288
Set	4190	1612	1112	380	1492
Out	4233	1629	2418	12	2430
Nov	4057	1561	4636	1	4637
Dez	4190	1612	5921	0	5921
Consumo total anual	51332	19752	40737	1407	42144

A Tab.4.25 apresenta um resumo dos resultados obtidos através das simulações realizadas com materiais mais eficientes, regulagem do termostato e substituição de equipamentos.

Tabela 4.25 - Resumo dos dados obtidos através das simulações com diferentes materiais

Resultados atingidos						
	Equipamentos (kWh)	Iluminação (kWh)	Ar condicionado (kWh)		Conforto (h)	
			Resfriamento	Aquecimento	Conforto	Desconforto
Condição real	64348	19752	36486	9720	2972	952
Termostato	64348	19752	44258	1136	3421	503
Vidro (6 mm)	64348	19752	44071	1131	3429	495
Proteção solar	64348	19752	40959	1248	3434	490
Revestimento interno	64348	19752	43028	817	3538	386
Substituição monitores	51332	19752	40737	1407	3423	501

Os dados obtidos proporcionam uma avaliação na busca por melhores resultados através da utilização, em conjunto, de mais de uma alternativa com o objetivo de manter a melhora nos índices de conforto e reduzir o consumo mensal de energia elétrica.

4.4.6 Melhores Alternativas - Caso 6

Foram inseridas as melhores alternativas em uma única simulação, sendo adequação do termostato, colocação de proteção solar (brise) e substituição dos monitores. No que se refere à obtenção de horas em conforto, os índices ficaram um pouco abaixo dos anteriores, sendo 3370 horas em conforto, ou seja, cerca de 86% do total de horas. Todavia obteve-se uma redução no consumo anual com energia elétrica de 14% se comparado à média atingida quando da avaliação das alternativas propostas e simuladas individualmente. A Tab.4.26 apresenta os dados referentes ao consumo simulado pela sala externa com as melhores adequações reunidas em uma única simulação.

Tabela 4.26 - Consumo mensal da sala com energia elétrica (melhores casos). Caso 6

Consumo mensal de energia elétrica (kWh)					
	Equipamentos	Iluminação	Sistema de condicionamento de ar		
			Resfriamento	Aquecimento	Total
Jan	4410	1696.77	6185.12	1.42	6186.54
Fev	4057	1561.09	5780.9	2.3	5783.2
Mar	4410	1696.77	5420.08	0	5420.08
Abr	4013	1544.31	2586.12	52.43	2638.55
Mai	4410	1696.77	1349.49	528.52	1878.01
Jun	4410	1696.77	148.77	1052.88	1201.65
Jul	4366	1679.99	938.47	219.29	1157.76
Ago	4586	1764.61	747.97	380.59	1128.56
Set	4190	1612.15	775.61	750	1525.61
Out	4233	1628.93	1759.86	31.32	1791.18
Nov	4057	1561.09	4017.35	5.86	4023.21
Dez	4190	1612.15	5324.75	4.23	5328.98
Consumo total anual	51332	19751	35034	3029	38063

A opção pelas adequações acima analisadas levou em consideração os índices atingidos nas simulações realizadas individualmente, o custo e o tempo total para sua implementação, bem como o impacto sobre a atual edificação e interferência nas atividades realizadas.

4.5 SIMULAÇÕES DO PRÉDIO ADMINISTRATIVO

A fim de obter maiores percentuais de horas em conforto nas quinze zonas térmicas do prédio, foram realizadas simulações com diferentes alternativas, primeiramente mantendo as condições atuais de ventilação natural e, posteriormente utilizando sistema de condicionamento de ar tipo *split*.

4.5.1 Isolamento Térmico no Forro – Caso 1

Esta simulação teve como base o caso real, sendo utilizadas as mesmas características construtivas levantadas *in loco* e detalhadas na Tab.4.7. As zonas térmicas 11,12 e 15 foram as que apresentaram maior índice de desconforto, conforme dados extraídos da simulação do caso real na Tab.4.11, devido a parte externa, logo acima do forro destas áreas corresponder ao telhado do prédio. Foi simulada a colocação de um isolamento térmico no forro, cujas características dos revestimentos estão descritas na Tab.4.27.

Tabela 4.27 - Características termofísicas dos materiais utilizados no isolamento térmico do forro

Materiais		espessura (mm)	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m K))	C (J/(kg K))	α_s -	ϵ -
ISOLAMENTO TÉRMICO (prédio)	Gesso acartonado	10	750	0,35	840	0,2	0,9
	Poliestireno (EPS 60mm)	60	15	0,04	1420	0,2	0,9

As três zonas mencionadas continuam apresentando ventilação natural. A Tab. 4.28 apresenta um comparativo com o total de horas em conforto e desconforto da situação real com os obtidos através da simulação com o isolamento térmico.

Através do uso de materiais construtivos com bom isolamento térmico é possível obter uma melhora nos índices de conforto de um ambiente, uma vez que minimizam as trocas de calor com o meio externo. Neste caso, específico das três zonas térmicas, houve um aumento de cerca de 15% no número de horas em conforto proporcionado pela redução de ganhos de calor por radiação e convecção oriundas externamente e, ao mesmo tempo, manutenção da temperatura interna.

Tabela 4.28 - Total de horas em conforto e desconforto nas zonas térmicas

Horas de ocupação em conforto e desconforto nas zonas térmicas (horas)									
Conforto/ desconforto	Zona 11 Caso real	Zona 11 Caso 1	Diferença	Zona 12 Caso real	Zona 12 Caso 1	Diferença	Zona 15 Caso real	Zona 15 Caso 1	Diferença
Horas em conforto	1721	1983	262	1740	2075	335	1703	2036	333
Horas em desconforto	1601	1339		1582	1247		1619	1286	
Percentual conforto	52%	60%		52%	62%		51%	61%	
Percentual desconforto	48%	40%		48%	38%		49%	39%	

Referente ao consumo e demanda de energia elétrica, esta alteração não apresentou interferência nos valores, visto que os equipamentos e iluminação utilizados, em ambas as zonas térmicas, não sofreram nenhum tipo de alteração. Contudo é importante salientar que esta alternativa, quando utilizada conjuntamente com sistemas de condicionamento de ar, permitirá a utilização de condicionadores de ar com menor capacidade, operando por menor tempo, o que implicará na redução do consumo e demanda de energia elétrica.

4.5.2 Espessura do Vidro - Caso 2

A simulação foi realizada mantendo todas as características termofísicas dos materiais construtivos do caso real, apenas modificando os vidros utilizados nas janelas. Conforme simulado para a sala externa, foram mantidos os vidros duplos a fim de garantir redução nas trocas térmicas que ocorrem com o ambiente externo. A alteração foi na espessura que passou de 3 mm (caso real) para 6 mm, cujas características físicas e ópticas foram descritas na Tab.4.16.

Houve uma variação no número de horas em conforto e desconforto em cada zona conforme as características internas e de localização. A Tab.4.29 apresenta o número de horas obtidas para cada uma das quinze zonas térmicas.

A maioria das zonas térmicas não apresentou melhora com o uso de um vidro duplo com maior espessura, ao contrário, os índices de conforto pioraram visto que ocorre menor troca térmica com o exterior.

Tabela 4.29 - Percentual de horas em conforto e desconforto nas zonas térmicas

Total Anual de horas de ocupação em conforto e desconforto nas zonas térmicas				
	Horas em conforto	Horas em desconforto	Percentual conforto	Percentual desconforto
Zona 1	2243	1303	68%	32%
Zona 2	2071	1221	63%	37%
Zona 3	1938	1384	58%	42%
Zona 4	1770	1983	53%	47%
Zona 5	2319	2746	70%	30%
Zona 6	1858	1883	56%	46%
Zona 7	2077	1928	63%	37%
Zona 8	2355	2428	71%	29%
Zona 9	2178	2131	66%	34%
Zona 10	2291	2769	69%	31%
Zona 11	1715	2140	52%	48%
Zona 12	1750	2140	53%	47%
Zona 13	2333	2873	70%	30%
Zona 14	2119	1939	64%	36%
Zona 15	1705	2130	51%	49%

Os valores referentes ao consumo de energia elétrica não sofreram alterações, visto que a alteração proposta não interfere na forma de utilização dos equipamentos e iluminação.

4.5.3 Revestimento Interno - Caso 3

Nesta simulação foi inserido revestimento interno nas paredes externas pertencentes às zonas térmicas. As demais características termofísicas dos materiais construtivos permaneceram as mesmas do caso real, Tab.4.7. Foi utilizado poliestireno expandido (EPS) na espessura de 10 mm com acabamento final de gesso acartonado com espessura de 10 mm. As características termofísicas dos materiais utilizados no revestimento constam na tabela 4.17.

Mantendo a ventilação natural conforme já mencionado, os valores obtidos referentes a horas de conforto variaram conforme cada zona, sendo que as zonas localizadas no primeiro andar (térreo) apresentaram melhora para os percentuais de conforto na faixa de 9%, se comparado ao caso real. Esta alteração é proporcionada pela

maior vedação nas paredes o que impede a penetração de umidade principalmente em dias característicos de inverno, época esta em que as zonas térmicas citadas apresentam temperaturas mais baixas que os demais ambientes do prédio analisados. Percentuais médios de 7% no aumento das horas de conforto também ocorreram nas zonas 11,12 e 15 isto porque, como já mencionado, estas zonas estão próximas ao telhado do prédio e, com a utilização do revestimento, o processo de troca de calor com o meio externo fica mais reduzido, favorecendo maior conforto em dias quentes.

Como o clima da região onde está localizado o prédio apresenta variações climáticas frequentes e há predominância de dias com temperaturas abaixo de 20 °C, as demais zonas térmicas não apresentaram melhoras nos índices de conforto, ao contrário, em algumas zonas o resultado obtido foi muito inferior ao real, isto porque o revestimento acaba por impedir as trocas térmicas com o meio externo. A Tab.4.30 apresenta os valores obtidos de horas em conforto e desconforto anuais, bem como o percentual em relação ao total de horas de ocupação.

Tabela 4.30 - Horas em conforto ou desconforto com a utilização de revestimento interno

Total Anual de horas de ocupação em conforto e desconforto nas zonas térmicas				
	Horas em conforto	Horas em desconforto	Percentual conforto	Percentual desconforto
Zona 1	2262	1060	68%	32%
Zona 2	2223	1099	67%	33%
Zona 3	2365	957	71%	29%
Zona 4	1840	1482	56%	44%
Zona 5	2429	893	73%	27%
Zona 6	1985	1337	60%	40%
Zona 7	2163	1159	65%	35%
Zona 8	2463	859	74%	26%
Zona 9	2344	978	71%	29%
Zona 10	2448	874	74%	26%
Zona 11	1910	1412	58%	42%
Zona 12	1918	1404	58%	42%
Zona 13	2452	870	74%	26%
Zona 14	2299	1023	70%	30%
Zona 15	1900	1422	57%	43%

Com a colocação de revestimento nas paredes das quinze zonas térmicas obteve-se aumento médio de 4 % no total de horas de conforto anuais por zona.

4.5.4 Ar Condicionado - Caso 4

Mantendo as mesmas características construtivas e termofísicas dos materiais utilizados no caso real, foi inserido um sistema de *HVAC* modelo *Split*. A escolha do modelo é baseada nas atuais condições estruturais do prédio, espaço físico e tipo de atividade desempenhada nas dependências da edificação. O sistema escolhido é de fácil instalação, não demandando adequações nas estruturas internas ou externas do prédio, possibilita a colocação do condensador na área externa e a unidade evaporadora no interior dos ambientes junto ao forro ou paredes, o que não prejudica a circulação de pessoas e minimiza a geração de ruídos prejudiciais ao bem estar dos usuários.

As simulações com o sistema de condicionamento de ar foram feitas em quatorze zonas térmicas. Na zona três não foi instalado o sistema, visto que nesta área não há necessidade de climatização por não haver presença de pessoas constantemente, por ser local da instalação do gerador e demais equipamentos que fazem o monitoramento do prédio e, principalmente, porque as condições avaliadas no caso real demonstram que a temperatura neste ambiente apresenta pouca variação durante os períodos do ano.

Nas 14 zonas térmicas foram inseridos sistemas de *HVAC* independentes com capacidade e potência nominal calculada de modo automático pelo *EnergyPlus*, de modo que as salas permaneçam com temperaturas recomendadas pela NBR-16401, conforme a Tab.3.1. Para atender à demanda das zonas 1 e 2 foi necessário a instalação de um sistema com capacidade nominal de 35.000 W (120.000 Btu/h) , nas zonas 5, 8, 9, 10 e 13 a capacidade total requerida para cada zona foi de 52.500 W (180.000 Btu/h) e nas zonas 3, 4, 6, 7, 11, 12 e 15 foi necessário um sistema de condicionamento de ar com capacidade total de 64.170 W (220.000 Btu/h) para cada uma.

As variações de capacidade necessárias em cada zona se justificam pelas características referentes à ocupação, quantidade e tipo de equipamentos ligados e localização dos ambientes avaliados. As Fig. 4.26 e 4.27 apresentam dois dias de projeto, um típico de verão e outro de inverno, com as condições referentes aos índices de *PMV* das salas, obtidos após a climatização dos ambientes.

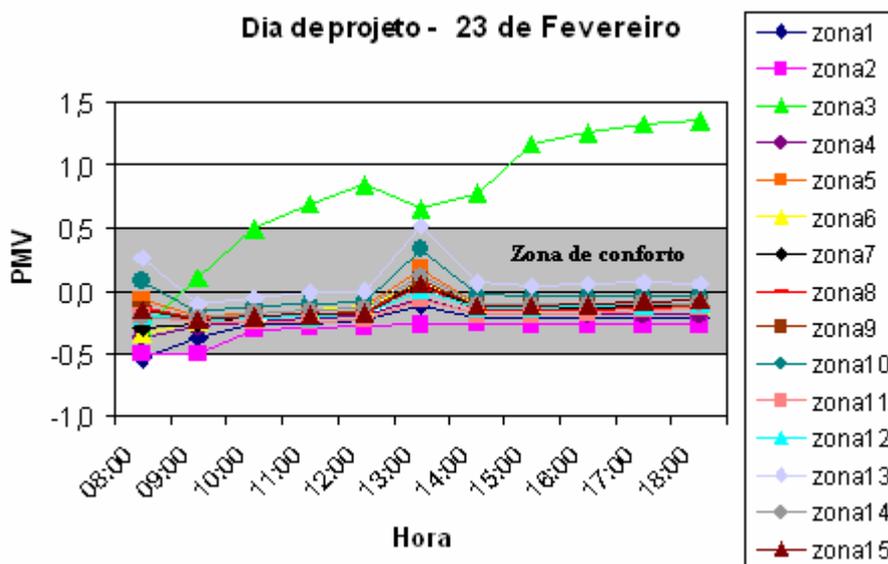


Figura 4.26 - Índices de *PMV* de um dia de projeto de verão (caso 4)

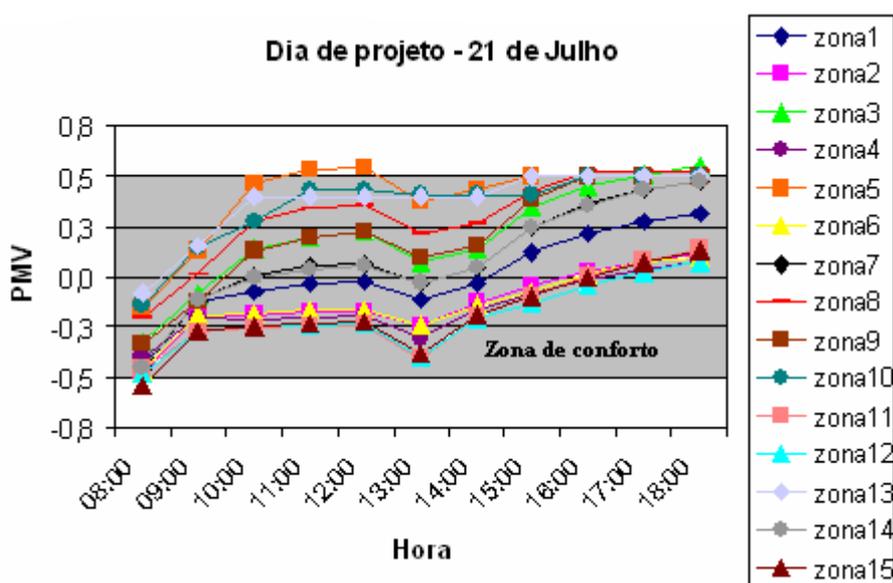


Figura 4.27 - Índices de *PMV* de um dia de projeto de inverno (caso 4)

Com esta simulação nota-se que os ocupantes encontram-se na faixa de conforto nos dois dias de projeto. Ocorre uma variação nos índices de *PMV* durante as horas do dia tanto na zona térmica avaliada quanto de uma zona para outra, mas esta oscilação é normal, pois o *PMV* não depende somente da temperatura, mas também de outras variáveis ambientais e pessoais.

Para demonstrar a melhora significativa do nível de *PMV* do caso 4 em relação ao caso real foi gerado um gráfico, utilizando as médias de *PMV* das zonas em ambos os casos, apresentados nas Fig.4.28 e 4.29. Fica claro que, para atender às condições

mínimas de conforto térmico das zonas pertencentes ao prédio, é necessário ter ambientes climatizados, fato relevante para proporcionar melhor desempenho nas atividades diárias.

A ventilação natural apresenta vantagens principalmente na questão de redução no consumo de energia elétrica, mas, em determinadas épocas do ano, ela não atende satisfatoriamente às necessidades dos ocupantes da edificação e, nestes casos, é feito uso de ventiladores de parede para amenizar o calor ou estufas elétricas em dias muito frios. Ambas as alternativas minimizam o desconforto, porém atendem a uma reduzida quantidade de pessoas, não garantem uma temperatura estável em toda a zona e principalmente elevam consideravelmente o consumo de energia elétrica do prédio.

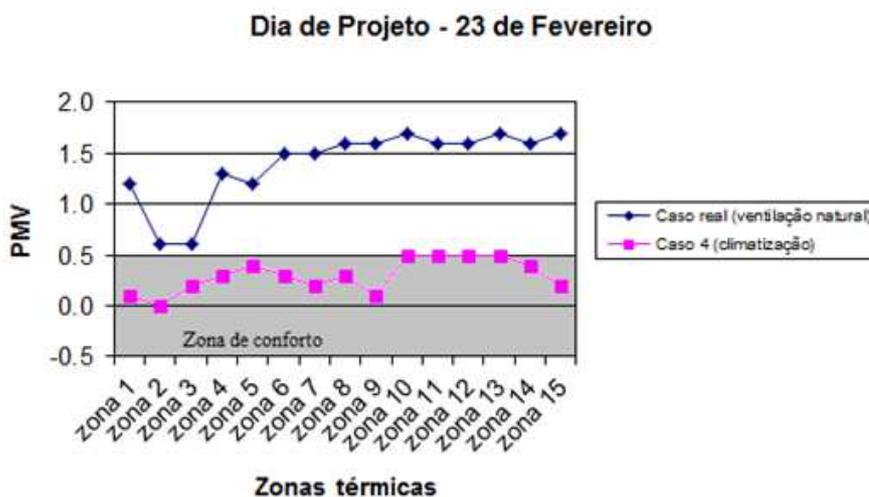


Figura 4.28 - Índices comparativos de *PMV* para um dia de verão

As temperaturas internas das zonas térmicas, com exceção da zona três que não conta com sistema de condicionamento de ar instalado, obedecem às programações propostas quando da regulagem do termostato, ou seja, oscilam entre 23 °C e 26 °C no dia de projeto de verão e entre 18 °C e 22 °C no dia de projeto de inverno, Fig. 4.30 e 4.31. Desta forma os níveis mínimos de conforto são garantidos aos ocupantes da edificação.

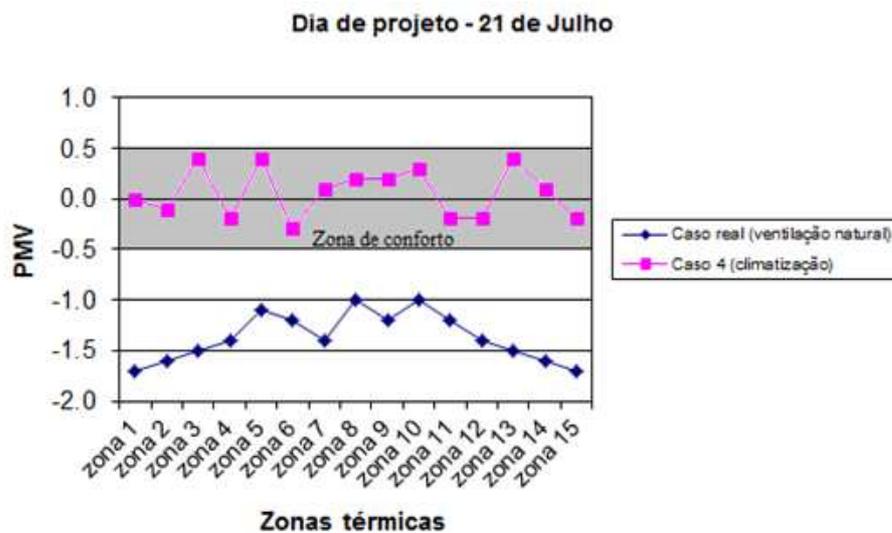


Figura 4.29 - Índices comparativos de *PMV* para um dia de inverno

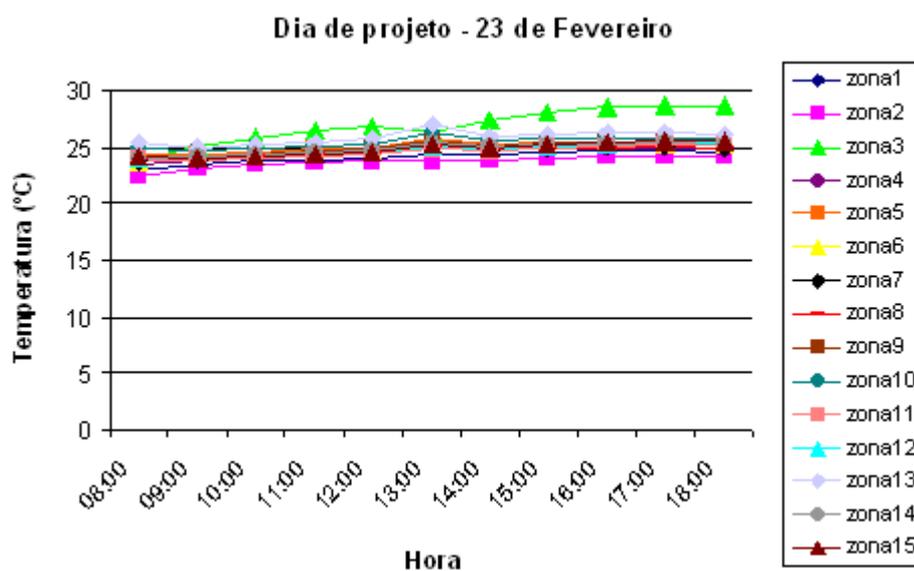


Figura 4.30 - Temperaturas em um dia de projeto de verão

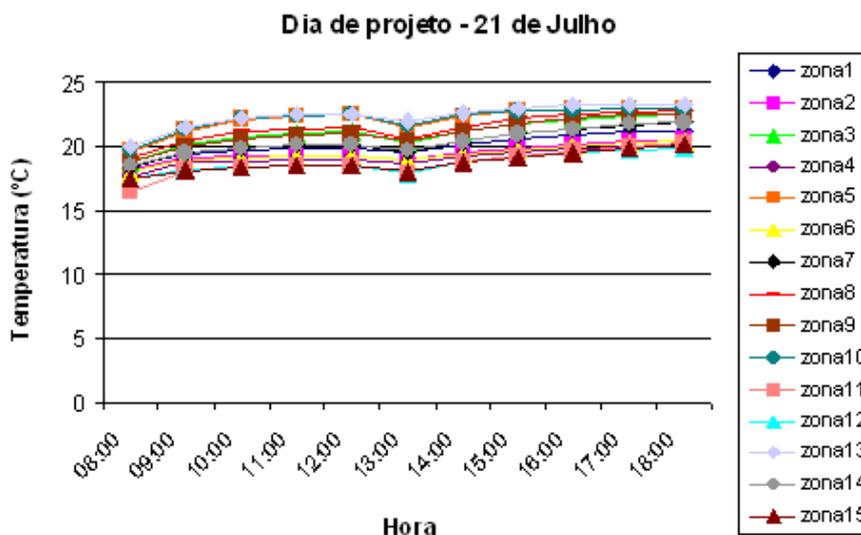


Figura 4.31 - Temperaturas em um dia de projeto de inverno

Analisando a Tab. 4.31, nota-se que o sistema de condicionamento de ar implicará em um aumento do consumo de energia elétrica da edificação, representando cerca de 99.012 kWh/ano consumidos para refrigeração e 58.164 kWh/ano para aquecimento. Estes valores implicam em um aumento de 17% no consumo total da fatura.

Tabela 4.31 - Consumo mensal de energia elétrica das zonas térmicas

Consumo médio com energia elétrica (kWh)				
Iluminação		Equipamentos	Sistema HVAC	
			Aquecimento	Resfriamento
Zona 1	369	778	133	315
Zona 2	271	573	234	116
Zona 3	22	2145	0	0
Zona 4	330	587	398	267
Zona 5	970	1866	476	1113
Zona 6	78	163	202	245
Zona 7	757	566	190	681
Zona 8	776	1434	365	852
Zona 9	576	1169	240	563
Zona 10	912	1909	527	1032
Zona 11	524	1105	359	495
Zona 12	369	778	403	448
Zona 13	893	1882	638	889
Zona 14	420	885	196	701
Zona 15	504	706	485	533
Total médio	7771	16546	4847	8251

A instalação do sistema de condicionamento de ar eliminará a necessidade de utilização dos ventiladores de parede e estufas elétricas, e sua utilização está condicionada a eficiência da ventilação natural, atualmente utilizada, em manter os níveis de conforto das zonas térmicas. Desta forma, as simulações realizadas procuraram priorizar a utilização da ventilação natural e somente recorrer à climatização quando esta não é suficiente para garantir condições de conforto aos ocupantes das zonas térmicas avaliadas.

5 ANÁLISE ECONÔMICA

No capítulo anterior foram apresentadas as avaliações das simulações realizadas com o objetivo de diminuir o consumo energético e garantir melhores índices de conforto térmico na sala externa de cobrança e nas quinze zonas térmicas pertencentes ao prédio administrativo.

Com a utilização de materiais construtivos mais eficientes termicamente, foi possível reduzir o consumo de energia elétrica sem, com isso, prejudicar o bem estar de seus ocupantes. Muitas das alternativas não apresentaram ganhos significativos se comparadas ao investimento necessário para sua adequação. Das alternativas utilizadas, a exemplo dos vidros com espessura de 6 mm, revestimento térmico nas paredes, instalação de proteção solar nas janelas e substituição de monitores, foi observado que a alternativa que trará maiores benefícios tanto econômicos quanto de conforto é a combinação na instalação de proteção solar (brise) com a substituição dos monitores tipo tubo (CRT), aliadas à regulagem do termostato entre 20 e 23 °C.

Na sala externa o consumo atual é de 130.306 kWh/ano, porém, com a utilização de materiais construtivos termicamente eficientes nas janelas para proporcionar maior vedação à passagem dos raios solares e substituição de monitores de tubo, o consumo foi reduzido para 118.630 kWh/ano, totalizando uma economia de 11.676 kWh/ano, o que representa uma redução de 9% sobre o consumo atual da sala.

O investimento necessário para a instalação do brise é na ordem de R\$ 10.800,00 e a substituição dos noventa e sete monitores é de R\$ 26.675,00. A atual tarifa de energia elétrica praticada pela concessionária fornecedora Rio Grande Energia - RGE é de R\$ 0,217804 fora de ponta e R\$ 1,518333 em ponta. Como ambas as edificações estudadas contam com gerador instalado para atender à demanda em horário de ponta, são calculados os valores gastos apenas considerando a tarifa fora de ponta. Desta forma, a economia anual da sala externa com as devidas adequações propostas atinge o valor de R\$ 2.543,08.

Observa-se que estas alterações proporcionam diminuição dos gastos anuais com energia elétrica e colaboram também para garantir maior número de horas em conforto para os ocupantes da sala externa de cobrança o que proporciona melhor ambiente de trabalho, favorece uma maior produtividade e minimiza os percentuais de absenteísmo provocados principalmente por doenças respiratórias causadas pelas constantes variações climáticas da região e pela permanência em ambientes com grande aglomeração de

peças e que apresentam deficiência no sistema de climatização de ar. Através das alterações propostas, foram atingidas 3370 horas em conforto, representando um aumento de 22% se comparado as atuais 2834 horas em conforto. Contudo, o investimento necessário para atender a estas adequações é elevado se comparado ao tempo de retorno, cerca de 120 meses, desta forma se torna viável realiza-lo somente quando a edificação e os equipamentos estiverem necessitando de manutenção, isto é, na medida em que os monitores que estiverem em más condições ou inutilizáveis forem retirados e substituídos por novos modelos mais eficientes. Da mesma forma, quando realizada manutenção predial, atentar para o uso de materiais mais eficientes termicamente.

Nas quinze zonas térmicas pertencentes ao prédio, as condições de conforto diferem bastante das encontradas na sala externa devido, principalmente, à utilização de ventilação natural em lugar de um sistema de climatização de ar. A ventilação natural colabora para um menor consumo de energia elétrica, mas em determinadas épocas do ano, caracterizadas por dias com temperaturas mais elevadas, ou, ao contrário, mais baixas, ela não atende às necessidades dos ocupantes sendo necessário, para isso, o uso de recursos como ventiladores de parede e estufas.

Em cada uma das zonas avaliadas, as condições de conforto no decorrer do dia variam motivadas pela ocupação, quantidade de equipamentos ligados e posição da zona térmica na área da edificação. As propostas utilizadas nas simulações primeiramente buscaram adequar o ambiente através do uso de materiais construtivos mais eficientes, todavia os resultados obtidos não atingiram níveis satisfatórios que justifiquem seu uso.

Através da comparação com os índices de conforto atingidos na sala externa e os atuais simulados nas zonas térmicas do prédio foi possível notar que uma boa estratégia seria a combinação de ventilação natural com o uso de sistemas de condicionamento de ar, formato conhecido por ventilação híbrida ou modo misto. Desta forma, seria possível aproveitar ao máximo o potencial existente de uma tecnologia passiva, dentro de suas limitações, e ainda manter o conforto térmico nos períodos em que ela não for suficiente. Foram inseridos aparelhos de ar condicionado, tipo *split*, nas quatorze zonas térmicas frequentemente ocupadas. A opção do tipo de condicionadores se justifica pela facilidade na instalação, reduzida necessidade de adequações nas estruturas e *layout* atual do prédio e baixo índice de ruído dos aparelhos.

A utilização de um sistema de climatização nas zonas térmicas permitiu atingir uma melhora nos níveis de conforto térmico para cerca de 90% das horas, desta forma das 3322 horas ocupadas, 2989 horas estão dentro dos índices pré-estabelecidos de

conforto, o que proporciona maior bem estar aos ocupantes. Contudo, a utilização de um sistema de climatização colaborou para o aumento no consumo anual da edificação em aproximadamente 157.176 kWh/ano.

Para a instalação de todo o sistema de condicionamento de ar nas zonas térmicas o custo aproximado do investimento representa R\$ 358.571,00. Contudo, este investimento se justifica na melhora interna do ambiente colaborando para garantir maior bem estar e aumento de produtividade.

O contrato atual de fornecimento de energia elétrica para a edificação é em alta tensão, com uma demanda de 240 kW, tensão de fornecimento de 13,8 kV pertencente ao grupo A4-Comercial/Serviços e estrutura tarifária Horo Sazonal Verde. Através da redução no consumo obtido na sala externa e a eliminação do uso de ventiladores e estufas nas dependências do prédio, a inclusão do sistema de climatização não irá exigir alterações nos valores de demanda contratada, ocorrendo apenas variação no consumo mensal.

A utilização de materiais mais eficientes termicamente colabora para reduzir os custos finais com energia elétrica e melhorar os índices internos de conforto, todavia para que seu uso se torne viável, eles devem ser utilizados desde a fase inicial da construção. Projetos executados visando o uso racional de energia devem acompanhar a obra desde o princípio, do contrário, para promover adequações em edificações já existentes os custos empregados são elevados e, em muitos casos a economia e os benefícios atingidos com as mudanças não justificam o investimento realizado.

6 CONCLUSÃO

Considerando o custo para a instalação e operação de novas usinas geradoras de energia, os impactos ambientais causados, a utilização de recursos não renováveis e a dificuldade de implementação de projetos que visam a utilização de fontes renováveis, todos os setores que utilizam energia de forma excessiva devem buscar medidas para o uso racional. O setor comercial vem apresentando um crescimento considerável na demanda por energia elétrica nos últimos anos, motivado pela melhora do poder aquisitivo dos brasileiros e pela necessidade de manter os ambientes atrativos e confortáveis termicamente a fim de proporcionar tanto para seus funcionários quanto para os clientes, níveis de conforto que satisfaçam suas necessidades. Este fato salienta a importância de estudar a demanda de energia elétrica em relação ao uso de sistemas de climatização, equipamentos e iluminação.

Para os casos estudados referentes à sala externa atualmente climatizada e as quinze zonas térmicas pertencentes ao prédio de sete andares com ventilação natural, onde o conforto térmico dos ocupantes é fundamental para garantir melhor produtividade e bem estar, foram simulados casos que avaliaram as contribuições de parâmetros construtivos e substituição de equipamentos na redução do consumo de energia elétrica, bem como avaliados os custos gerados pela instalação de um sistema de condicionamento de ar para atender todas as salas ocupadas do prédio administrativo.

Os parâmetros construtivos utilizados que apresentaram os melhores resultados na sala externa foram: proteção solar nas janelas localizadas ao sul, vidros duplos de 6mm, revestimento interno com EPS e gesso acartonado. Além destas alternativas, a substituição de 97 monitores tubo (CRT), e a adequação nos parâmetros de regulação do termostato utilizado para monitoramento do sistema de climatização também foram simulados com o objetivo de reduzir os ganhos de calor internos e garantir melhores níveis de conforto aos ocupantes. Através da junção de três dos parâmetros acima mencionados, sendo proteção solar, substituição dos monitores e adequação do termostato foi possível diminuir a capacidade do sistema de HVAC e reduzir em 9% o consumo anual de energia elétrica além de elevar em 22% o total de horas em conforto dos ocupantes.

Nas zonas térmicas pertencentes ao prédio a utilização de ventilação natural proporciona bons índices de conforto térmico aos seus ocupantes, ainda que não seja durante todo o ano, e colabora para minimizar os gastos com energia elétrica.

Adequações realizadas através da adoção de diferentes alternativas construtivas a exemplo de vidro duplo, revestimento interno nas paredes e isolamento térmico no forro apresentaram, de forma geral, reduzida alteração nos índices de conforto. Resultado mais expressivo foi notado com o uso do revestimento térmico no forro nas zonas 11,12 e 15 atingindo-se um aumento médio de 10% em horas de conforto proporcionado pela redução dos ganhos de calor por radiação devido à proximidade do forro com o teto do prédio.

De qualquer forma, a priorização da utilização de ventilação natural aliada a sistemas de condicionamento de ar, sempre que aquela não atender de forma satisfatória as demandas por conforto do ambiente, proporcionaram melhora significativa nos índices de conforto dos ocupantes das zonas térmicas avaliadas. Muito embora se tenha notado aumento no consumo de energia elétrica, com esta adequação é possível eliminar o uso de ventiladores de parede e estufas elétricas minimizando, assim, o impacto sobre o consumo final.

Em ambas as edificações avaliadas a busca pela redução do consumo de energia foi priorizado sem, contudo, prejudicar o conforto térmico de seus ocupantes. A utilização de parâmetros construtivos eficientes termicamente colabora para o alcance dos objetivos traçados, todavia, observa-se que o melhor momento para se investir e utilizar materiais eficientes termicamente é na fase inicial do projeto da edificação, pois a diferença de valor entre um material mais ou menos eficiente se justifica nos benefícios atingidos posteriormente.

Como sugestão para trabalhos futuros pode-se citar:

- a) avaliar a utilização de outros materiais construtivos;
- b) avaliar a utilização de um sistema de geração de energia fotovoltaica buscando reduzir a demanda por energia fornecida pela concessionária;
- c) avaliar a substituição das luminárias atuais por tecnologias mais eficientes priorizando a instalação no momento da troca de equipamentos danificados;
- d) avaliar diferentes alternativas de climatização que possam ser utilizadas em conjunto com a ventilação natural;
- e) avaliar o uso de equipamentos de informática mais eficientes prevendo o momento de substituição gradativa de aparelhos danificados;
- f) avaliar a proporção de ocupantes e equipamentos por sala prevendo mudanças de *layout* e criação de novos setores;

- g) avaliar novas alternativas de proteção solar para as fachadas visando maior eficiência.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6401**. Instalações centrais de ar-condicionado. Parâmetros básicos de projeto. Rio de Janeiro, 1980.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS - ASHRAE. **Climatic Design Information**. Atlanta: ASHRAE Handbook Fundamentals, 2001.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS - ASHRAE. **Physiological Principles and Thermal Comfort**. Atlanta: ASHRAE Handbook Fundamentals, 1993.
- BALTAR, M. G. **Redução da Demanda de Energia Elétrica Utilizando Parâmetros Construtivos Visando ao Conforto Térmico**. 2006. Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, PUC-RS, Porto Alegre, 2006.
- BATIZ, E. C.; GOEDERT, J.; MORSCH, J. J.; KARSMIRSKI JUNIOR, P.; VENSKE, R. Influência do Conforto Térmico na Atenção e Memória em Estudantes Universitários. **XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP**, Rio de Janeiro, 2008.
- BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL – BEN. Departamento Nacional de Política Energética, Ministério das Minas e Energia, Governo Federal, Brasília, 2011.
- CAMPOS, F. F. de Souza; BARBIERI, P. E. L.; NETO, J. H. M. Simulação Energética de Edificações Comerciais Utilizando o Software “eQuest”. **16º POSMEC. Simpósio de Pós Graduação em Engenharia Mecânica**. Universidade Federal de Uberlândia - MG, 2006.
- CAROTENUTO, A. R. S. **Análise do Desempenho Termoenergético de um Prédio Histórico de Elevada Inércia Térmica**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, RS, 2009.
- ÇENGEL, Y. A.; BOLES, M. A. **Termodinâmica**. 3. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2001.
- DIAKAKI, C.; GRIGOROUDIS, E.; KOLOKOSTSA, D. Towards. A multi – objective optimization approach for improving energy efficiency in buildings. **Energy and Buildings**, v. 40, Issue, 2008.
- DIAS, Rubens Alves; MATTOS, Cristiano Rodrigues; BALESTIERI, José Antonio Perella. **A Ciência para o Desenvolvimento Sustentável**. São Paulo: Scipione, 2001.
- DOMBROSKY, R. F. **Eficientização de um Sistema de Climatização Aeroportuário a Partir do Uso da Termoacumulação**. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Unisinos, São Leopoldo, RS, 2012.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Consumo nacional de energia elétrica por classe 1995/2010**. Disponível em: <<http://www.epe.com.br>>. Acesso em: 23 fev. 2012.

ENERGYPLUS Manual. Documentation Version 1.2.3. The Board of Trustees of the University of Illinois and the Regents of the University of California through the Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2005.

FANGER P. O. **Thermal Comfort: analysis and applications in environmental engineering.** McGraw-Hill. New York, 1972.

FERNANDEZ, Ana Eliza Pereira. As Torres Envidraçadas e o Consumo Energético. **Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído; Encontro Latino-Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis.** Canela, RS, 2001.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual do Conforto Térmico.** São Paulo: Stúdio Nobel, 2003.

GRADE, M.; LIMA L. **Ambientes de Conforto e Consumo Energético.** Departamento de Engenharia Mecânica, Secção de Ambiente e Energia – Instituto Superior Técnico. Lisboa, Portugal, 2001.

GRINGS, E. T. O. **Comparação entre Resultados Computacionais e Experimentais do Comportamento Térmico de um Ambiente.** Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio grande do Sul. Porto Alegre, RS, 2003.

HERNANDEZ, A. N; TRIBESS, A; VITTORINO, F. Evaluation of simulation software for non – conditioned houses. **XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica,** novembro 26-30, Uberlândia, 2001. v. 5.

INATOMI, Thais Aya Hassan; LEITE, Brenda Chaves Coelho. **Análise da Eficiência Energética do Sistema de Condicionamento de Ar com Distribuição pelo Piso em Ambiente de Escritório, na Cidade de São Paulo, Utilizando o Modelo Computacional *EnergyPlus*.** Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, SP, 2009.

INATOMI, T. A. H.; ABE, V. C.; LEITE, B. C. C. Energy Consumption of Underfloor Air Distribution Systems: A Literature Overview. **International Conference on Passive and Low Energy Architecture,** Geneva, 2006.

ISO 7730 - International Organization for Standardization. **Moderate thermal environments - determination of the PMV e PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort.** International Standard, 1994.

ISO 7273 - International Organization for Standardization. **Hot environments: Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT - index (wet bulb globe temperature).** International Standard, 1989.

LAMBERTS, R; GHISI, E.; ABREU, A.; CARLO, J.; BATISTA, J.; MARINOSKI, D.; NARANJO, A. **Apostila de Desempenho Térmico de Edificações.** Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

LAMBERTS, Roberto; GHISI, EneDir; PAPST, Ana Lúcia. **Desempenho térmico de Edificações. Consumo de Eletricidade em Edificações.** LabEEE, Florianópolis, SC, 2000.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A. P. **Apostila de Conforto Térmico e Stress Térmico**. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

LBNL, **Getting Started With Energy Plus**. US Department of Energy, Version 6.0, USA, 2011.

LIDDAMENT, M. **Air Infiltration Calculation Techniques - An Applications Guide**. Bracknell, Berkshire, 1986.

Manuais EnergyPlus. Copyright (c) 2000-2011. **GARD Analytics**.

MARTINEZ, Maria Fernanda Baquerizo. **Avaliação Energética Visando Certificação de Prédio Verde**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS Porto Alegre - RS, Brasil; 2009.

MARTINS, Florido Manuel Nunez Vaz. **Uso Eficiente de Energia em Comércio Lojista**. SEBRAE – Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Rio de Janeiro, 2008.

MASCARÓ, J. L.; MASCARÓ, L. E. R. **Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios**. 2. ed. Porto Alegre: Sagra DC Luzatto, 1992.

MEDEIROS, Wagner Silva; QUELHAS, Osvaldo Luiz Gonçalves; LAMEIRA, Valdir de Jesus. A Auditoria Como Ferramenta Para a Eficiência Energética. Estudo de Caso em duas Empresas Localizadas no Estado do Rio de Janeiro. **VII Congresso Nacional de Excelência em Gestão**, 2011.

MEIER, A.; OLOFSSON, T.; LAMBERTS, R. What Is an Energy-Efficiency Building? In: **IX ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Foz do Iguaçu, 2002.

MELO A. P. **Avaliação computacional de estratégia para a redução do consumo de energia elétrica em um hotel de Florianópolis**. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, dezembro, 2005.

MENKES, M. **Eficiência Energética, Políticas Públicas e Sustentabilidade**. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Brasília, Centro de Desenvolvimento Sustentável, 2004.

NASPOLINI, Helena Flávia; CAMARGO, C. Celso de Brasil; ZACCHI, Danilo Renato Philipi; GARBELOTTO, Luiz Antônio; GOLFETTO, Rosania M. Eficiência Energética em Estabelecimentos Escolares: Escola + Clara. **Anais II Congresso Brasileiro de Eficiência Energética**, Vitória – ES.

OLIVEIRA, Bruno Manuel Lima; CRAVEIRO, Francisco Pacheco. **Eficiência Energética de Edifícios**. Universidade do Porto, FEUP – Faculdade de Engenharia, Lisboa, 2007.

PARRIS, T.; KATES, R. **What is Sustainable Development? Goals, Indicators, Values and Practices.** Science and Policy on Sustainable Development, v. 47. p. 8-21. Disponível em: <http://sustsci.harvard.edu/ists/docs/whatisSD_env_kates_0504.pdf>. Acesso em: 21 dez. 2011.

PESSOA, Valdemberg Magno do Nascimento; DIAS, Márcia Gabriela Leite; CORREIA, Patrícia de Moraes; OLIVEIRA, Raul Alves de. Avaliação de Variáveis Termoambientais e Luminosas Frente à Percepção de Conforto Ambiental em Salas de Aula no Semi-árido Potiguar. **IV Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte e Nordeste de Educação Tecnológica**, Belém- PA, 2009.

PLANO NACIONAL DE ENERGIA 2030. Ministério de Minas e Energia e Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético, 2006/2007. Disponível em http://www.gov.br/site/menu/select_menu_item.do?channelId=8213. Acesso em: 02/01/2012.

POZZA, Fernando. **Análise Térmica e Energética de uma Edificação Residencial com Ar Condicionado VRF-Fluxo de Refrigerante Variável.** 2011. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, 2011.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA - PROCEL. **Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso.** Classe Residencial Relatório Brasil. Eletrobrás, 2007.

RAMOS, G. **Análise da Influência da Transmitância Térmica no Consumo de Energia de Edificações Comerciais.** 2007. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Brasil, 2007.

RODRIGUES, José F.; CREPPE, Renato C.; PORTO, Luiz G.C. RODRIGUES, Ricardo M.; SERNI, Paulo J.A. **Avaliação de Sistema de Iluminação Através de Aplicação de Retrofit Visando Eficiência Energética.** Grupo de Pesquisa Racionalização de Energia Elétrica. Faculdade de Engenharia de Bauru, São Paulo, 2007.

SANTOS, Maria Betania Gama; AZEVEDO, Luciano Gomes de; BARBOSA, Edimar Alves; CARVALHO, Frede de Oliveira. Diagnósticos Energéticos em Indústrias - Estudo de Caso. **XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Porto Alegre, RS, 2005.

SANTOS, Romeo Ferreira. **A arquitetura e a eficiência nos usos finais da energia para o conforto ambiental.** São Paulo, 2002.

SCHNEIDER, P. S. **Comportamento Térmico de Ambientes.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, PROMEC – UFRGS, Porto Alegre, 2000.

SERAFIN, Raquel May. **Avaliação da Redução do Consumo de Energia Elétrica em Função do Retrofit no Edifício Sede da Eletrosul.** 2010. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, SC, 2010.

SILVA, V. H. B. **Impacto dos Sistemas de Climatização no Conforto Térmico em Edifícios.** Universidade de Aveiro – Departamento de Engenharia Mecânica, 2011.

SOLA, Antonio Vanderley Herrero; KOVALESKI, João Luiz. Eficiência Energética nas Indústrias: Cenários & Oportunidades. **XXIV Encontro Nac. de Eng. de Produção**, Florianópolis, SC, 2004.

SÓRIA, Ayres Francisco da Silva; FILIPINI, Fábio Antonio. **Eficiência Energética**. Curitiba, PR: Base, 2010.

WALLAUER, M. **Utilização do Programa *EnergyPlus* para a Simulação do Conforto Térmico em Edificações Populares em Quatro Capitais Brasileiras**. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS - Porto Alegre, RS, 2003.

WESTPHAL, F.S.; LAMBERTS, R. Influência dos fechamentos opacos no desempenho energético de edificações em função de suas cargas internas e padrões de uso. **Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering**. Curitiba: ENCIT, 2006.

APÊNDICE 1 - Consumo mensal de energia elétrica com iluminação e equipamentos
(kWh)

Consumo mensal de energia elétrica com iluminação e equipamentos (kWh)										
	Zona 1		Zona 2		Zona 3		Zona 4		Zona 5	
	Ilumin	Equip	Ilumin	Equip	Ilumin	Equip	Ilumin	Equip	Ilumin	Equip
Jan	383	809	282	595	23	2230	343	611	1008	1940
Fev	350	739	258	544	21	2038	314	558	922	1774
Mar	383	809	282	595	23	2230	343	611	1008	1940
Abr	340	716	250	527	20	1975	304	541	895	1718
Mai	383	809	282	595	23	2230	343	611	1008	1940
Jun	383	809	282	595	23	2230	343	611	1008	1940
Jul	373	785	274	578	22	2166	333	593	981	1885
Ago	399	843	294	621	24	2325	357	637	1051	2023
Set	356	751	262	553	21	2070	319	567	938	1802
Out	367	774	270	570	22	2134	328	584	965	1857
Nov	350	739	258	544	21	2038	314	558	922	1774
Dez	356	751	262	553	21	2070	319	567	938	1802
Total	4425	9332	3259	6872	266	25735	3959	7047	11645	22395
	Zona 6		Zona 7		Zona 8		Zona 9		Zona 10	
	Ilumin	Equip	Ilumin	Equip	Ilumin	Equip	Ilumin	Equip	Ilumin	Equip
Jan	81	170	588	786	806	1490	599	1216	948	1985
Fev	74	155	538	719	738	1363	548	1111	867	1814
Mar	81	170	588	786	806	1490	599	1216	948	1985
Abr	72	151	521	698	716	1320	531	1077	841	1758
Mai	81	170	588	786	806	1490	599	1216	948	1985
Jun	81	170	588	786	806	1490	599	1216	948	1985
Jul	78	165	571	765	785	1448	582	1181	922	1928
Ago	84	177	613	820	841	1554	624	1268	988	2070
Set	75	158	546	731	750	1384	557	1129	881	1843
Out	77	163	563	753	772	1426	573	1164	907	1899
Nov	74	155	538	719	738	1363	548	1111	867	1814
Dez	75	158	546	731	750	1384	557	1129	881	1843
Total	931	1963	6787	9081	9315	17203	6914	14033	10945	22907
	Zona 11		Zona 12		Zona 13		Zona 14		Zona 15	
	Ilumin	Equip	Ilumin	Equip	Ilumin	Equip	Ilumin	Equip	Ilumin	Equip
Jan	544	1149	383	809	927	1957	436	920	524	734
Fev	498	1050	350	739	848	1789	399	841	479	671
Mar	544	1149	383	809	927	1957	436	920	524	734
Abr	483	1017	340	716	823	1733	387	815	465	650
Mai	544	1149	383	809	927	1957	436	920	524	734
Jun	544	1149	383	809	927	1957	436	920	524	734
Jul	530	1116	373	785	902	1901	424	893	510	713
Ago	567	1198	399	843	967	2041	454	959	546	765
Set	506	1067	356	751	863	1817	405	854	488	681
Out	521	1099	367	774	888	1873	417	880	502	702
Nov	498	1050	350	739	848	1789	399	841	479	671
Dez	506	1067	356	751	863	1817	405	854	488	681
Total	6287	13258	4425	9332	10712	22590	5034	10616	6053	8467