

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E
PRESERVAÇÃO AMBIENTAL

Liége Garlet

**OTIMIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES
INDUSTRIAIS: ESTUDO DE CASO EM INDÚSTRIA
METALOMECÂNICA NA ZONA BIOCLIMÁTICA BRASILEIRA 2**

Santa Maria, RS
2017

Liége Garlet

**OTIMIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES
INDUSTRIAIS: ESTUDO DE CASO EM INDÚSTRIA METALOMECÂNICA NA
ZONA BIOCLIMÁTICA BRASILEIRA 2**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

Orientador: Dr. Joaquim Cesar Pizzutti Dos Santos

Santa Maria, RS
2017

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Garlet, Liége
OTIMIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES
INDUSTRIAIS: ESTUDO DE CASO EM INDÚSTRIA METALOMECÂNICA
NA ZONA BIOCLIMÁTICA BRASILEIRA 2 / Liége Garlet.- 2017.
112 p. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, RS, 2017

1. Comportamento térmico 2. Eficiência energética 3.
Conforto térmico 4. Arquitetura bioclimática 5.
Pavilhões industriais I. Título.

Liége Garlet

**OTIMIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES
INDUSTRIAIS: ESTUDO DE CASO EM INDÚSTRIA METALOMECÂNICA NA
ZONA BIOCLIMÁTICA BRASILEIRA 2**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Preservação Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

Aprovado em 25 de abril de 2017:

Joaquim Cesar Pizzutti Dos Santos, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Marcos Alberto Oss Vaghetti, Dr (UFSM)

Eduardo Grala da Cunha, PhD. (UFPel)

Santa Maria, RS.

AGRADECIMENTOS

À minha família, meus pais Saulo e Rosita e minhas irmãs Geane, Nadia e Katia, por sempre acreditarem em mim e pelo apoio total nas etapas de minha formação acadêmica e pessoal.

À minha grande amiga e sócia Roberta Doleys que sempre foi minha inspiração e apoio.

Ao meu orientador Joaquim, pela honra em conviver com uma pessoa excepcionalmente inteligente e de caráter simples, que me proporciona, ao longo de muitos anos, sabedoria, conhecimento e oportunidades de crescimento. Obrigada pela convivência e por ter aceitado o desafio.

Ao prof. Eduardo Grala e aos acadêmicos e funcionários que compõem o Laboratório de Conforto e Eficiência Energética (Labcee) pela acolhida e pela troca de experiências na UFPel.

À prof. Giane Grigoletti por todo apoio e conhecimento compartilhado.

Ao prof. Marcos Vagheti pela parceria em trabalhos realizados.

Aos colegas de mestrado por compartilharmos as dúvidas, ansiedades e alegrias dessa etapa, em especial à minha colega Giceli Tabarelli.

Ao Felipe Hundertmark, João Paulo Llovet e Eduardo Schneider pela colaboração no trabalho.

Às minhas amigas Sheila Comiran e Lidia Rodrigues pela inspiração.

Às minhas grandes amigas Andressa, Cássia, Isadora e Sabrina, obrigada por todos os momentos de angústia e de vitórias compartilhados.

Às amigas Bruna Taschetto, Nicole Tirloni, Pabla Pereira, Tuanny Bañolas e Ana Rodrigues, vocês foram fundamentais nas últimas etapas deste processo.

Às minhas amigas Kelly Schuster e Lidia Tamiozzo pela amizade e por me acolherem diversas vezes em suas casas ao longo destes 2 anos.

A todos os amigos que estiveram de alguma forma ao meu lado nesta etapa.

Aos funcionários da empresa Silenkar, pela acolhida e por viabilizarem o desenvolvimento deste trabalho.

E à família Kirchof, em especial, pelos anos de convívio, aprendizado e pela oportunidade e confiança depositada para desenvolver o trabalho na empresa da família.

E a cada pessoa que de alguma forma pode colaborar para o desenvolvimento deste trabalho.

Muito obrigada!

"Não somos o que sabemos. Somos o que estamos dispostos a aprender."

(Council on ideas)

RESUMO

OTIMIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES INDUSTRIAIS: ESTUDO DE CASO EM INDÚSTRIA METALOMECÂNICA NA ZONA BIOCLIMÁTICA BRASILEIRA 2

AUTORA: Liége Garlet

ORIENTADOR: Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos

O compromisso em fornecer ambientes de trabalho confortáveis termicamente é um dos aspectos fundamentais para que os trabalhadores possam elevar seu rendimento. Por vezes, para atingir este objetivo, demanda-se muita energia. Nesse sentido, este trabalho se propôs testar a viabilidade da aplicação de estratégias bioclimáticas na redução de gastos energéticos e melhoria do conforto térmico em pavilhões industriais do setor metalomecânico, instalados na Zona Bioclimática Brasileira 2, por meio de estudos do comportamento térmico de um caso base, com a adoção de duas metodologias de análise. Uma delas, para o pavilhão industrial, ventilado naturalmente, analisando as condições de conforto térmico dos seus usuários com o método adaptativo. A outra, para o edifício de escritórios, que é climatizado artificialmente, com o método prescritivo e de simulação do RTQ-C, avaliando a eficiência energética desta edificação. Também foram analisados os fluxos térmicos de ambas as edificações, ou seja, seu comportamento térmico, verificando onde ocorreram as principais perdas e os ganhos de calor nas edificações. A análise de fluxos térmicos do pavilhão industrial destacou os elevados ganhos de calor através de paredes e cobertura no verão e as perdas expressivas por infiltração no inverno. Analisadas as propostas de soluções bioclimáticas para o pavilhão, verificou-se que as mais apropriadas são o uso de ventilação natural controlada aliada à cobertura isolada e a baixa absorvância solar de paredes e coberturas. No diagnóstico da sensação de conforto térmico para as horas ocupadas, a partir das soluções que melhor se destacaram, verificou-se o aumento do percentual de horas em conforto de 12,81% considerando soluções para amenizar frio e calor, com possibilidade de redução do desconforto por calor em 57%. No escritório, a avaliação da eficiência energética por meio do RTQ-C apontou para a classificação de nível D da edificação, nos dois métodos avaliados, e a análise dos fluxos térmicos detectou grande geração de calor interno oriunda dos equipamentos, iluminação e ocupação, além de ganhos provenientes das janelas e paredes no verão, e perdas significativas pelas janelas, paredes e cobertura no inverno. Testadas propostas de solução ao escritório, identificaram-se como as mais viáveis a substituição das lâmpadas por equivalentes de menor consumo, a adequação do *setpoint* dos aparelhos condicionadores de ar, a utilização da baixa absorvância solar dos fechamentos e o uso de proteções solares externas, alcançando redução de 48,36% no consumo de energia. A análise geral das edificações reflete as principais modificações a serem consideradas, que são questões projetuais e podem ser resolvidas seguindo os conceitos da arquitetura bioclimática, em que a envoltória deve facilitar a perda de calor e/ou dificultar a sua entrada, assim como a escolha de equipamentos que consumam menos energia é determinante para a eficiência energética da edificação.

Palavras-chave: Comportamento térmico. Eficiência energética. Conforto térmico. Arquitetura bioclimática. Pavilhões industriais.

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF INDUSTRIAL BUILDINGS THERMAL BEHAVIOR: CASE STUDY IN METAL-MECHANICAL INDUSTRY IN BRAZILIAN BIOCLIMATIC ZONE

2

AUTHOR: Liége Garlet

ORIENTER: Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos

Commitment to providing thermally comfortable working environments is one of the key aspects for workers to raise their performance. To achieve this goal, sometimes, high energy consumption is required. In this sense, this work intends to test the feasibility of the application of bioclimatic strategies for the reduction of energy expenditure and improvement of thermal comfort in industrial pavilions of the metal-mechanical sector, installed in the Brazilian Bioclimatic Zone 2, through studies of the thermal behavior of a case study, with the adoption of two analytical methodologies. One of them, for the industrial pavilion, naturally ventilated, analyzing the thermal comfort conditions of its users with the adaptive method. The other, for the office building, which is artificially cooling, using the prescriptive and simulation method of the RTQ-C, evaluating the energy efficiency of this building. We also analyzed the thermal flows of both buildings, that is, their thermal behavior, verifying where the main losses and the heat gains occurred in the buildings. The analysis of thermal flows of the industrial pavilion highlighted the high heat gains through walls and roof in summer and winter and the expressive losses by infiltration. Analyzed the proposals of bioclimatic solutions for the pavilion, it was verified that the most appropriate are the use of controlled ventilation and with the isolated roof and the low solar absorptance of walls and roofs. In the diagnosis of the sensation of thermal comfort for the hours occupied, from the solutions that best stood out, the percentage of hours in comfort of 12.81% was increased considering solutions to ameliorate cold and heat, with possibility of reduction of the heat discomfort by 57%. At the office, the RTQ-C evaluation pointed to the D-level classification of the building in the two evaluated methods, and the analysis of the thermal flows detected a large internal heat generation from the equipment, lighting and occupation, as well as gains from windows and walls in summer, and significant losses through the windows, walls and roof in winter. Tested proposals for solution to the office, identified as the most feasible the replacement of light bulbs by the equivalents of lower consumption, the suitability of the setpoint of air conditioners, the use of low solar absorptance of the envelope and the use of external sunscreens, achieving a reduction of 48.36% in energy consumption. The general analysis of the buildings reflect the main modifications to be considered, which are design issues and can be solved following the concepts of bioclimatic architecture, in which the envelope should facilitate the loss of heat and / or impede its entry, as well as the choice of equipment that consumes less energy is decisive for the energy efficiency of the building.

Keywords: Thermal behavior. Energy efficiency. Thermal comfort. Bioclimatic architecture. Industrial metal-mechanical pavilions.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Zoneamento bioclimático brasileiro	19
Figura 2 – Carta Bioclimática para Santa Maria/RS	21
Figura 3 – Modelo adaptativo de conforto térmico proposto por Dear, Brager e Cooper (1997).	27
Figura 4 – Índice de conforto proposto pela ASHRAE 55 (2004).	28
Figura 5 – Classificação geral do RTQ-C.....	33
Figura 6 – Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS) e Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS).	38
Figura 7 – Consumo de energia elétrica nas indústrias.	46
Figura 8 – Esquema resumo da metodologia aplicada no trabalho.....	52
Figura 9 – Localização da Edificação estudo de caso no DISM.....	54
Figura 10 – Imagem aérea das instalações industriais	55
Figura 11 – Planta Baixa do Pavilhão industrial e escritório da edificação estudo de caso.....	55
Figura 12 – Foto da execução da obra mostrando a estrutura pré-moldada de concreto.....	56
Figura 13 – Corte representando a abertura de ventilação no pavilhão industrial (corte no sentido BB).....	56
Figura 14 – Fechamento translúcido na fachada do pavilhão industrial.....	57
Figura 15 – Imagem interna do pavilhão industrial analisado.	57
Figura 16 – Planta Baixa do escritório.....	58
Figura 17 – Corte AA.....	59
Figura 18 – Área de engenharia do escritório da empresa.	59
Figura 19 – Esquema resumo da metodologia utilizada pelo RTQ-C.....	66
Figura 20 – Fluxos térmicos para a situação real no dia típico de verão.....	69
Figura 21 – Fluxos térmicos para a situação real no dia típico de inverno.	70
Figura 22 – Somatório de fluxos térmicos para a Situação real nos dias típicos de verão e inverno.....	71
Figura 23 – Situação base 1.....	71
Figura 24 – Fluxos térmicos na cobertura para os dias típicos de verão e inverno...	76
Figura 25 – Fluxos térmicos nas superfícies opacas verticais para os dias típicos de verão e de inverno.....	77

Figura 26 – Fluxos térmicos nas janelas para os dias típicos de verão e inverno. ...	78
Figura 27 – Fluxos térmicos das infiltrações para os dias típicos de verão e inverno.	79
Figura 28 – Análise do conforto adaptativo para as situações que propõem alterações na envoltória.....	80
Figura 29 – Análise do conforto adaptativo para as situações que propõem alterações na cobertura.	81
Figura 30 – Análise do conforto adaptativo para as situações que propõem alterações na cobertura com acréscimo da ventilação.	83
Figura 31 – Análise do conforto adaptativo para as situações que propõem a soma de proposições avaliadas.	84
Figura 32 – Fluxos térmicos no modelo real do escritório – dia típico de verão.	94
Figura 33 – Fluxos térmicos no modelo real do escritório – dia típico de inverno.....	94
Figura 34 – Consumo anual para as Situações propostas.	97
Figura 35 – Fluxos térmicos do ambiente de engenharia para uso de proteções solares externas no dia típico de verão	99
Figura 36 – Fluxos térmicos do ambiente de engenharia para uso de proteções solares externas no dia típico de inverno.....	100
Figura 37 – Fluxos térmicos do ambiente de engenharia para as Situações 1, 8 e 9 no dia típico de verão.....	101
Figura 38 – Fluxos térmicos do ambiente de engenharia para as Situações 1, 8 e 9 no dia típico de inverno.....	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consequências do aumento da temperatura no ambiente de trabalho ...	16
Tabela 2 – Pré-requisitos específicos da envoltória para a ZB 2.	35
Tabela 3 – Parâmetros do $IC_{máxD}$	36
Tabela 4 – Parâmetros do $IC_{mín}$	37
Tabela 5 – Limites dos intervalos dos níveis de eficiência.	37
Tabela 6 – Equivalentes numéricos para ventilação natural	44
Tabela 7 – Materiais componentes das edificações objeto de estudo e suas características térmicas.	60
Tabela 8 – Propriedades térmicas dos fechamentos	60
Tabela 9 – Características óticas dos fechamentos transparentes.	61
Tabela 10 – Características do sistema de iluminação	63
Tabela 11 – Características dos equipamentos	63
Tabela 12 – Características dos aparelhos do tipo <i>Split</i>	64
Tabela 13 – Operação das proteções solares externas	99

LISTA DE QUADROS

Quadro 1– Identificação das situações de análises propostas.....	72
Quadro 2– Análise dos pré-requisitos da envoltória.....	88
Quadro 3 – Elementos necessários ao cálculo do consumo da envoltória.	88
Quadro 4 – Limites e intervalo de mudança de nível.	88
Quadro 5 – Características do Sistema de Iluminação e análise dos pré-requisitos específicos.	89
Quadro 6 – Cálculo da DPI limite.	90
Quadro 7 – Ponderação dos pré-requisitos pela área.....	90
Quadro 8 – Avaliação do Sistema de Condicionamento de Ar.....	91
Quadro 9 – Dados considerados na equação de classificação final da edificação. ..	92
Quadro 10 – Consumo anual de energia nos modelos analisados.	93

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVO GERAL.....	16
1.1.1	Objetivos Específicos	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA.....	18
2.2	ESTRATÉGIAS DE ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA.....	19
2.2.1	Ventilação Natural	21
2.2.2	Inércia térmica para resfriamento	23
2.3	CONFORTO TÉRMICO.....	24
2.4	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	29
2.5	REGULAMENTO TÉCNICO DA QUALIDADE PARA O NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES COMERCIAIS, DE SERVIÇO E PÚBLICAS (RTQ-C).....	31
2.5.1	Método prescritivo	32
2.5.1.1	<i>Envoltória</i>	34
2.5.1.2	<i>Sistema de Iluminação</i>	39
2.5.1.3	<i>Sistema de Condicionamento de ar</i>	40
2.5.2	Método de simulação computacional	41
2.5.2.1	<i>Parâmetros para a Simulação Computacional</i>	41
2.5.2.2	<i>Modelo do Edifício Real</i>	42
2.5.2.3	<i>Modelo do Edifício de Referência</i>	43
2.5.2.4	<i>Pontuação total</i>	44
2.6	DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DE AMBIENTES INDUSTRIAIS ...	45
2.7	GERAÇÃO DE CALOR INTERNO EM AMBIENTES INDUSTRIAIS.....	46
2.7.1	Sistema de iluminação	47
2.7.2	Máquinas e motores	50
2.7.3	Ocupação	51
3	METODOLOGIA	52
3.1	LEVANTAMENTO DAS EDIFICAÇÕES ESTUDO DE CASO	53
3.2	METODOLOGIA UTILIZADA PARA AS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS	61
3.2.1	Ocupação	62

3.2.2	Iluminação	62
3.2.3	Equipamentos	63
3.2.2	Sistema de condicionamento de ar	64
3.3	CONFORTO TÉRMICO DO PAVILHÃO INDUSTRIAL: MÉTODO ADAPTATIVO	64
3.4	AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES ESTUDADAS – FLUXOS TÉRMICOS	65
3.5	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS: METODOLOGIA DO RTQ-C	66
3.5.1	Método Prescritivo	67
3.5.1.1	<i>Avaliação da Envoltória</i>	67
3.5.1.2	<i>Avaliação do Sistema de Iluminação</i>	67
3.5.1.3	<i>Avaliação do Sistema de Condicionamento de ar</i>	68
3.5.2	Método de Simulação Computacional	68
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS PARA O PAVILHÃO INDUSTRIAL	69
4.1	FLUXOS TÉRMICOS E PROPOSTAS DE SOLUÇÕES - PAVILHÃO INDUSTRIAL	69
4.2	CONFORTO TÉRMICO	79
4.3	CONSIDERAÇÕES GERAIS PARA O PAVILHÃO INDUSTRIAL	85
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS PARA O ESCRITÓRIO	87
5.1	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO PRÉDIO DE ESCRITÓRIO – MÉTODO PRESCRITIVO	87
5.1.1	Envoltória	87
5.1.2	Sistema de iluminação	89
5.1.3	Sistema de Condicionamento de ar	91
5.1.4	Classificação Final	91
5.2	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO PRÉDIO DE ESCRITÓRIO – MÉTODO DE SIMULAÇÃO	92
5.3	FLUXOS TÉRMICOS E PROPOSTAS DE SOLUÇÕES – ESCRITÓRIO ...	93
5.3.1	Proteções solares	98
5.4	CONSIDERAÇÕES GERAIS - ESCRITÓRIO	102
6	CONCLUSÕES	104
	REFERÊNCIAS	107

1 INTRODUÇÃO

O compromisso em fornecer ambientes de trabalho confortáveis termicamente é um dos aspectos fundamentais para que os trabalhadores possam elevar seu rendimento. No entanto, por vezes, demanda-se muita energia para atingir este objetivo.

Despender tanta energia é preocupante, visto que há uma crescente busca por eficiência energética no setor industrial, decorrente das exigências de processos produtivos mais eficientes e da necessidade de redução de custos. Aliadas a essa questão, estão as preocupações de comunidades e governos com a escassez de recursos não renováveis e com as problemáticas ambientais provenientes do processo de industrialização.

Portanto, a eficiência energética faz-se necessária para minimizar o uso de recursos naturais e custos da produção, além de melhorar o desempenho das empresas, tanto para inovação quanto para qualidade de serviços, sendo uma solução econômica, eficaz e rápida. Uma boa gestão em eficiência energética faz com que as empresas reduzam o consumo de energia, contribuindo, então, para a redução do impacto das atividades sobre o clima, além de torná-las mais competitivas.

A eficiência energética na arquitetura, segundo Lamberts; Dutra e Pereira (2014), pode ser entendida como um atributo inerente à edificação, representante de seu potencial em possibilitar conforto ambiental aos usuários com baixo consumo de energia.

A exposição dos trabalhadores a recintos quentes, combinada com a alta geração interna de calor em ambientes industriais, devido à execução de tarefas que exigem esforço físico, leva o corpo à necessidade de rápida perda de calor a fim de preservar o seu equilíbrio térmico. De acordo com Scigliano e Hollo (2001), há perda da eficiência humana de 1,8% a cada grau de temperatura que ultrapassar os 27° C, aumentando os acidentes de trabalho por sobrecarga térmica na proporção que o conforto térmico baixa, podendo chegar a 40% quando a temperatura estiver 10°C acima do nível de conforto (Tabela 1).

Tabela 1 – Consequências do aumento da temperatura no ambiente de trabalho

Temperatura do ambiente	Consequências
> 27°C	Perda na eficiência humana de 1,8% (a cada 1°C)
10°C acima do nível de conforto	Risco de acidentes de até 40%

Fonte: Adaptado de Scigliano e Hollo (2001).

Porém, os sistemas de condicionamento de ar convencionais demandam muita energia para que possam conceber ambientes de trabalho em condições de conforto térmico. E, de acordo com o relatório síntese do Balanço Nacional de Energia (BEN) do ano de 2016, o setor industrial é responsável por consumir 32,5% da energia no Brasil.

Pensando nisso, as empresas estão procurando cada vez mais soluções para melhorar a eficiência do sistema de energia. Porém, os grandes desafios deste setor estão no aumento do custo e da demanda, além da integração de fontes renováveis e do envelhecimento da infraestrutura energética.

A utilização racional de energia conhecida como eficiência energética consiste em utilizar menos energia para fornecer o mesmo resultado, preservando o meio ambiente. Uma das maneiras de obter essa racionalização em edificações é na concepção de um bom projeto arquitetônico - ou projetos de arquitetura bioclimática -, associados a equipamentos eficientes.

Segundo Serra (1989), arquitetura bioclimática é aquela que busca a otimização de suas relações energéticas com o entorno ambiental, por meio do próprio desenho arquitetônico, fazendo uso de aspectos do clima para sanar necessidades de conforto em espaços edificados.

Dessa forma, este estudo propõe a utilização dos conceitos de arquitetura bioclimática na redução de gastos energéticos e melhoria do conforto térmico nas instalações industriais do setor Metalomecânico na Zona Bioclimática Brasileira 2, por meio de estudos de diagnóstico de edificações quanto ao desempenho termoenergético.

1.1 OBJETIVO GERAL

Este estudo tem como objetivo avaliar, para a Zona Bioclimática Brasileira 2 (ZB 2), a potencialidade de aplicação de estratégias bioclimáticas na redução do

consumo de energia elétrica e na melhora das condições de conforto térmico de instalações industriais.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Avaliar o nível de eficiência energética da edificação que abriga o setor administrativo da empresa (sede) utilizada como estudo de caso;
- Avaliar as condições de conforto térmico do pavilhão industrial utilizado como estudo de caso;
- Avaliar o comportamento térmico das edificações do caso base;
- Propor estratégias bioclimáticas possíveis de serem executadas, e avaliar o seu respectivo potencial de redução de consumo de energia e melhoria no conforto térmico.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão abordados os temas de relevância que darão suporte ao desenvolvimento deste trabalho.

2.1 ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA

A base de um projeto de arquitetura foi descrita no período clássico por Vitrúvio, com o entendimento que a arquitetura devia se apoiar em três pilares: estrutural, funcional e formal. Hoje sabemos que além desses três, outro elemento é imprescindível para a realização de um bom projeto de arquitetura, a eficiência energética.

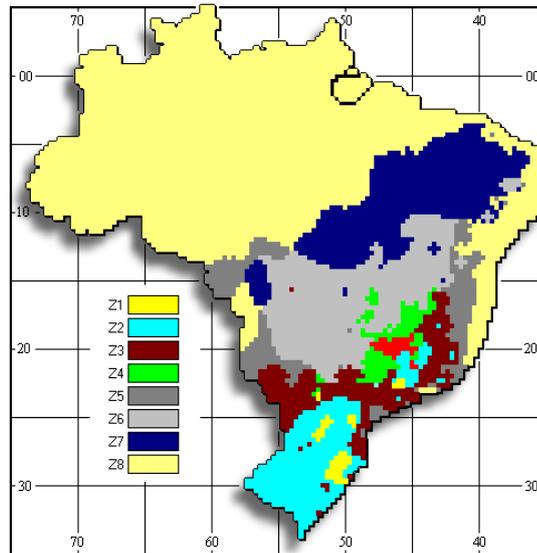
Segundo Cunha (2006), não existe conceito de arquitetura bioclimática, ela é a arquitetura simplesmente, e sua principal característica é a de ser poupadora de energia elétrica, tendo como condicionante arquitetônico o contexto e o entorno do projeto.

O conceito de projeto bioclimático surgiu na década de 60, nos Estados Unidos, com os irmãos Olgay, quando desenvolveram um procedimento de adequação das edificações ao clima. Victor Olgay sugeriu o roteiro para a construção bioclimática em quatro etapas: a primeira, de análise dos dados climáticos anuais da região; em seguida, a avaliação biológica baseada nas sensações humanas; após essas duas tratar-se-iam das soluções tecnológicas para reduzir os impactos do clima e usar as vantagens existentes; e por último da aplicação arquitetônica das conclusões obtidas nas três primeiras fases e desenvolvimento equilibrado dos elementos conforme a necessidade (OLGYAY, 1963).

No Brasil, porém, sua extensão territorial define características climáticas bastante distintas para as regiões do país, fato este que determina condições e estratégias de projeto arquitetônico específicas para cada região.

A NBR 15220-3 (ABNT, 2005) apresenta o zoneamento bioclimático brasileiro, dividindo o território em 8 zonas bioclimáticas, como é exemplificado na Figura 1.

Figura 1 – Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: Adaptado de NBR 15220-3 (ABNT, 2005).

Santa Maria, cidade na qual está sendo realizado este trabalho, está localizada na região central do Rio Grande do Sul, latitude de 29°41'02"S e longitude de 53°48'25"W (AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE SANTA MARIA, 2015); com precipitações médias de 134,7mm e anuais acumuladas de 1616,8mm (INMET, 2017), inserida na Zona Bioclimática Brasileira 2, com clima mesotérmico e úmido, e ventos predominantes leste e sudeste.

2.2 ESTRATÉGIAS DE ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA

As estratégias de arquitetura bioclimática podem e devem ser utilizadas para a melhoria das condições de conforto dos ambientes e de sua eficiência energética. Entre os estudos clássicos sobre bioclimatologia, Olgay (1963) desenvolveu um diagrama bioclimático com estratégias de adaptação da arquitetura ao clima e ao conforto humano, relacionando a temperatura de bulbo seco e a umidade relativa e algumas variáveis independentes. Dessas relações, propôs uma zona de conforto e medidas corretivas para se atingir o conforto quando fora da zona. Estas medidas poderiam ser passivas ou ativas, dependendo dos parâmetros climáticos.

Sobre o diagrama bioclimático de Olgay, Givoni construiu a Carta Bioclimática em 1969, sobre o traçado de uma carta psicrométrica, baseando-se nas

temperaturas esperadas para o interior da edificação. Givoni (1992) explica que o diagrama de Olgyay é para condições externas, embora as estratégias de projeto sugeridas sejam para o interior. Em uma revisão de sua carta em 1992, Givoni apresenta uma nova versão com alterações baseadas em questionamentos e observações de estudos desenvolvidos por vários pesquisadores, sobre a aplicabilidade de certos padrões de conforto utilizados até o momento para qualquer país ou região. Para Lamberts; Dutra e Pereira (2014), o trabalho desenvolvido por Givoni em 1992, que é voltado para os países em desenvolvimento, é o modelo mais apropriado para o Brasil.

Com o passar dos anos e baseadas nesses trabalhos norteadores, várias cartas bioclimáticas passaram a ser plotadas em cima de cartas psicrométricas para cidades do território brasileiro, e com estratégias de projeto específicas para o local. A carta bioclimática permite avaliar o comportamento da edificação em relação ao clima durante dias, meses ou anos, identificando a zona de conforto e determinando estratégias de aquecimento e resfriamento passivos e ativos. O gráfico adotado para o Brasil está dividido em nove estratégias bioclimáticas definidas por zonas.

Para Andrade (1996, p. 7), as estratégias bioclimáticas são artifícios para o planejamento de edificações, em que "as pesquisas do projeto bioclimático buscam minimizar custos de energia, pois procuram obter de forma natural as condições de conforto térmico aos ocupantes de um espaço".

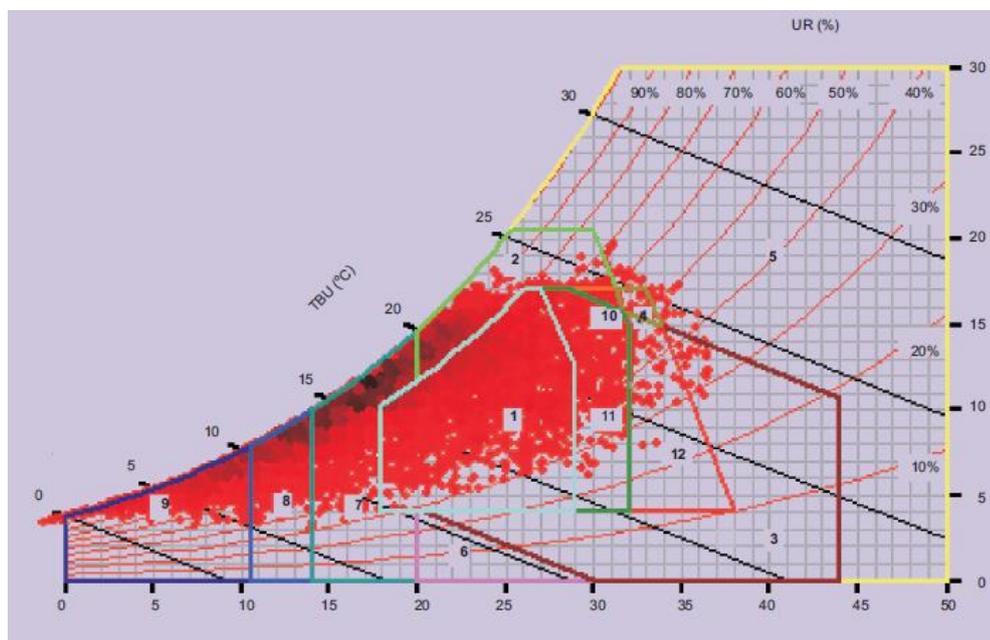
A Figura 2 ilustra a carta bioclimática de Santa Maria/RS, gerada por Flores (2014), onde se encontram a zona de conforto térmico e as demais zonas (medidas corretivas para atingir o conforto térmico): 1. Zona de conforto; 2. Zona de ventilação; 3. Zona de resfriamento evaporativo; 4. Zona de massa térmica para resfriamento; 5. Zona de refrigeração artificial; 6. Zona de umidificação do ar; 7. Zona de massa térmica para aquecimento; 8. Zona de aquecimento solar da edificação; 9. Zona de aquecimento artificial (calefação).

Segundo Flores (2014), os pontos vermelhos sobre a carta representam cada hora do ano, eles formam uma mancha alongada, o que demonstra a grande variação climática a que a cidade se submete ao longo do ano, apontando para desconforto em 69,13% das horas do ano, sendo 20,3% causado por calor e 49,1% causado por frio. Para a cidade, as estratégias mais indicadas para o período de calor são o uso de ventilação, inércia térmica para resfriamento, resfriamento evaporativo e ar condicionado em pequena parcela. E para o período frio, é

necessário o uso da inércia térmica para aquecimento, aquecimento solar passivo, aquecimento artificial. Conforme aponta Flores (2014):

O projeto arquitetônico na cidade de Santa Maria tem como premissa satisfazer duas estratégias divergentes o aquecimento solar e a ventilação. Recomenda-se considerar estratégias que permitam o uso da ventilação no verão que não prejudique o aquecimento no inverno. A principal solução são aberturas bem resolvidas que possam cumprir bem a ventilação no verão e o isolamento no inverno, evitando perdas de calor (FLORES, 2014, p.113).

Figura 2 – Carta Bioclimática para Santa Maria/RS



Fonte: Flores, 2014.

Nesta pesquisa, que se caracteriza por solucionar ambientes de trabalho industriais com alta geração de calor interno, apenas serão abordadas soluções para o resfriamento de ambientes, embora sabendo das variações climáticas da cidade.

2.2.1 Ventilação Natural

A ventilação natural é apontada como a estratégia bioclimática mais eficiente para obtenção do conforto térmico em climas temperados-úmidos e quentes. Segundo Olgay (1998), nas zonas climáticas quentes, a ventilação tem uma importância relevante como solução contra as altas temperaturas e umidades.

Além disso, a maioria das cidades brasileiras tem temperaturas médias dentro da zona de conforto, ou seja, uma boa ventilação permitiria conforto térmico aos usuários, reduzindo o consumo com refrigeração (MASCARÓ, 1991).

Para Graça e Linden (2016), um sistema de resfriamento que se utiliza da ventilação natural poderia reduzir pela metade o consumo de energia dos escritórios, edificações tipicamente consumidoras de energia para climatização. Outra característica dos edifícios naturalmente ventilados, onde os usuários tem controle do ambiente através de janelas operáveis, é que, além de reduzir o consumo de energia, têm-se evidências crescentes de que a produtividade dos trabalhadores é melhorada em edifícios com baixos níveis de CO₂ (ALLEN et al., 2015).

Ventilar naturalmente significa deslocar o ar através dos ambientes sem que haja fornecimento de energia para tal. O ar entra por algumas aberturas da edificação e sai por outras, dependendo da diferença de pressão entre a parte interna e a externa e da resistência oferecida ao fluxo pelas aberturas. Essa movimentação pode ser gerada por meio do efeito chaminé (convecção natural) ou pelo efeito dinâmico dos ventos (diferenças de temperaturas de massas de ar na atmosfera), podendo ocorrer ambos simultaneamente.

Quando não há movimentação natural do vento, o efeito chaminé faz a renovação de ar dos edifícios em uso não dotados de sistemas mecânicos de ventilação. Esse processo físico de convecção natural, que se baseia no fato do ar aquecido ser mais leve (menos denso) que o ar frio, resulta na tendência natural do ar quente subir, retirando o calor da edificação. Ou seja, as esquadrias para entrada de ar devem ser localizadas em pontos mais próximos ao piso e, para a saída de ar, localizadas mais próximas à cobertura ou nela inseridas.

Em países como o Brasil, Scigliano e Hollo (2001) aconselham utilizar da abundante energia solar para movimentar a convecção natural, obtendo-se desta maneira a ventilação de conforto e a ventilação higiênica dos ambientes, confirmando a importância de um projeto arquitetônico bem elaborado para as edificações. Para os autores, qualquer edificação, seja ela pequena ou grande, comporta-se como uma chaminé. No caso de um galpão industrial, devido à sua grande área, mesmo que o efeito seja fraco, provoca uma grande exaustão do ar quente, pois ele está presente em toda a sua extensão, sendo considerada uma chaminé muito larga, que tem seu efeito aumentado com o aumento do pé direito.

Scigliano e Hollo (2001) criaram um índice de ventilação natural (IVN), que possibilita a aferição do grau de conforto térmico dos edifícios industriais, com exceção daqueles com alta geração interna de calor (fundições, siderúrgicas etc.). O índice é calculado a partir da área de piso, área e formato das aberturas de ventilação, respeitando valores mínimos para o pé-direito e a posição e uniformidade das aberturas.

2.2.2 Inércia térmica para resfriamento

A inércia térmica é uma solução de projeto que pode ser utilizada, em locais quentes, para o resfriamento de ambientes interiores. Ela é a capacidade de armazenar e liberar calor, caracterizando-se pela utilização de fechamentos opacos mais espessos, que irão segurar o calor absorvido e retirar o calor dos ambientes durante o dia através de seus fechamentos, e liberá-lo à noite.

A necessidade de grande inércia térmica aumenta quanto maior a variação da temperatura externa, radiação solar e ou ganhos de calor. A razão entre o calor absorvido e o calor armazenado nos materiais da edificação depende da capacidade térmica do material que compõe a envoltória, este sendo caracterizado pelo produto da densidade pela espessura e pelo calor específico dos seus componentes.

Em um estudo no sul do Brasil, Goulart (2002) aponta que o simples uso da inércia térmica em paredes não garante um bom desempenho térmico se o telhado não possuir isolamento ou barreira radiante para reduzir o calor que incide pela cobertura. O projeto arquitetônico também deve prever aberturas na cobertura para a dissipação do calor à noite. Deve ser levado em consideração ainda, a relação do tamanho das aberturas da edificação pela área de piso, atentando para sombreamento das aberturas para que os componentes da envoltória possam segurar calor por mais tempo.

Para as edificações de ocupação predominante diurna, que sofrem amplitudes térmicas diárias maiores que 10 °C, é recomendado o uso de fechamentos com elevada inércia térmica, pois amenizam os picos diários de temperatura, armazenando o calor durante o dia e liberando-o durante a noite (BRITO et al., 2010).

Souza (2011) analisou a influência da inércia térmica para resfriamento através do solo, associada às estratégias de ventilação natural e de sombreamento

parcial, e obteve resultados que mostram temperaturas internas mais baixas e, desse modo, diminuição nos níveis de desconforto provocados pela interação térmica com o meio externo. Ele observou que as temperaturas superficiais são mais baixas quando ocorre o contato com o solo, em média 1 °C, alcançando uma diferença máxima de 1,5 °C no período vespertino. E, quando aplicada uma taxa de ventilação de 4 ren/h representou uma redução média na temperatura interna de 3,5 °C, ou seja, as temperaturas internas ficaram mais baixas quando combinadas à inércia térmica e à ventilação natural, acumulando menor somatório de graus-hora de calor ao longo do dia. O sombreamento das aberturas também provocou redução na temperatura interna dos ambientes analisados.

2.3 CONFORTO TÉRMICO

A concepção de um ambiente térmico adequado às atividades e ocupação humana deve ser estabelecida levando em consideração a satisfação dos indivíduos que ocupam estes ambientes, o rendimento físico e intelectual, e a conservação de energia, ressaltando que não há a possibilidade de todos os usuários estarem confortáveis em um ambiente, mas que se deseja enquadrar a maior parte deles nessa situação.

O conforto térmico, segundo a ASHRAE 55 (2010), é uma condição da mente que expressa a satisfação com o ambiente térmico. Ele especifica as combinações de fatores interiores ambientais térmicos e fatores individuais que produzem condição térmica aceitável para a maioria dos ocupantes dentro de determinado espaço (SCHIAVON et al., 2014). Para Ruas (1999), conforto térmico está relacionado ao equilíbrio térmico do corpo humano:

Conforto e equilíbrio térmico do corpo humano estão relacionados, na medida em que a sensação de bem estar térmico depende do grau de atuação do sistema termorregulador para a manutenção do equilíbrio térmico. Isso significa que, quanto maior for o trabalho desse sistema para manter a temperatura interna do corpo, maior será a sensação de desconforto (RUAS, 1999, p.3).

As condições de conforto térmico de um ambiente dependem de mecanismos de equilíbrio térmico, modos de transferência de calor, condições climáticas e atividade. Além destes fatores existem “variáveis subjetivas: hábitos alimentares que

afetam o metabolismo; idade e sexo; forma do corpo; gordura do corpo; estado de saúde; vestuário; processo de aclimação dos indivíduos” (LIMEIRA, 2006).

Porém, para uma mesma temperatura, a sensação de conforto térmico pode ser diferente em função de variáveis como o vento e a umidade do local. Além destas variáveis, a atividade física e a vestimenta interagem na sensação de conforto térmico do homem. (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, p. 46).

Os índices de conforto térmico foram desenvolvidos para avaliar a sensação térmica das pessoas quando expostas às variáveis mencionadas anteriormente. Para que estes possam ser determinados, foram desenvolvidas diversas pesquisas em duas linhas de abordagem.

A primeira, comumente chamada de estática, originária dos estudos de Fanger (1970), por meio de pesquisas realizadas em câmaras climatizadas, representa uma linha analítica da avaliação das sensações térmicas humanas, considerando o homem como um ser receptor passivo do ambiente térmico.

A segunda abordagem, conhecida como adaptativa, é fruto dos estudos de campo realizados por Humphreys, os quais consideram o homem como um agente ativo, que interage com o ambiente em resposta às suas sensações e preferências térmicas.

Fanger (1970) derivou uma equação geral de conforto térmico pra calcular a combinação de variáveis ambientais, incluindo temperatura radiante média, velocidade do ar, umidade relativa, temperatura do ar, atividade física e vestimenta. Ele avaliou em seu trabalho pessoas de diferentes idades, nacionalidades e sexos, para obter o Voto Médio Predito (PMV do inglês *predicted mean vote*), que consiste em um valor numérico que traduz a sensibilidade humana ao calor ou ao frio. A partir disso, foi implementado o conceito de Percentagem de Pessoas Insatisfeitas (PPD do inglês *predicted percentage of dissatisfied*).

Diferentemente de Fanger (1970), Humphreys (1975) estudou o fator de aclimação das pessoas frente a determinado clima, relacionando a temperatura de conforto com a temperatura média do local estudado, desenvolvendo o conceito de temperatura neutra, que originou os modelos adaptativos de conforto térmico.

Diferentes pesquisas demonstraram que os tradicionais índices de conforto, como o PMV e o PPD de Fanger, adotado pelas renomadas normas internacionais ASHRAE 55 (1992) e ISO 7730 (1994), não são adequados aos ambientes ventilados naturalmente. Isso se deve ao fato, principalmente, de não considerarem

que as pessoas quando submetidas a condições de desconforto térmico possam melhor se adaptar aos ambientes, sendo mais tolerantes às variações de temperatura, que as estabelecidas pelos índices anteriormente considerados.

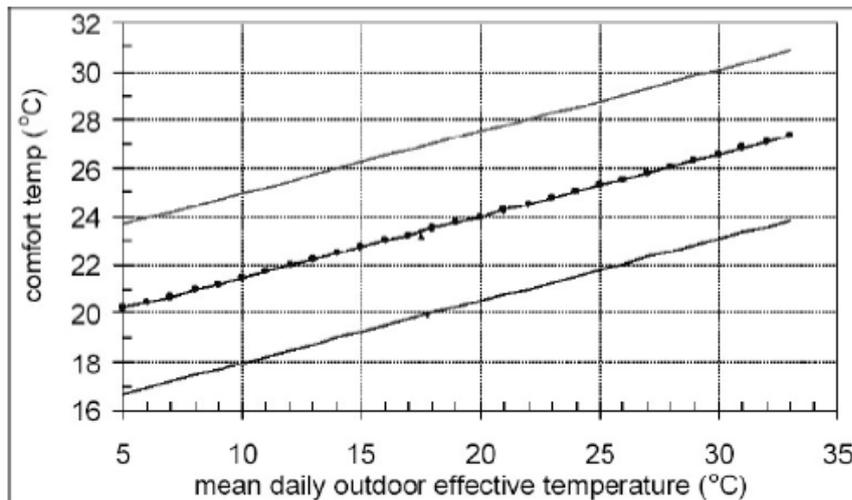
Até pouco tempo, as normas internacionais não distinguiam o que era aceitável, termicamente, em um ambiente climatizado e em um ambiente ventilado naturalmente. As versões mais recentes da ASHRAE 55 foram revistas, baseadas na teoria adaptativa de conforto térmico. Desde a versão de 2004, fica estabelecido que os usuários possam tolerar maiores variações de temperatura se eles tiverem maior controle sobre elas, permitindo velocidades do ar mais altas que as previstas na versão anterior de 1992.

A ASHRAE 55 (2004) adota um novo índice para avaliação térmica de ambientes condicionados naturalmente, a Temperatura Operativa Neutra, baseada nos estudos de De Dear; Brager e Cooper (1997), que tiveram por base os modelos adaptativos de Humphreys (1975), que criou a chamada temperatura neutra.

Para De Dear; Brager e Cooper (1997), o conceito do modelo adaptativo é aquele em que o corpo humano não apenas mantém seu equilíbrio térmico com o ambiente por meio de termorregulação fisiológica, como também por um conjunto de respostas adaptativas que permitem às pessoas se adaptarem as condições ambientais internas e externas por outras duas variáveis, a comportamental e a psicológica.

Os autores desenvolveram um novo índice de conforto que leva em conta a média diária externa da temperatura efetiva do lugar para estabelecer se um ambiente está confortável ou não, conforme a Figura 3. Este índice é válido para ocupantes com atividades sedentárias com taxas metabólicas entre 1.0 e 1.3 met, e onde seja possível a livre escolha da vestimenta. Na ausência de observações meteorológicas atuais, dados meteorológicos médios publicados para o mês relevante da estação meteorológica mais próxima podem ser suficientes (DE DEAR; BRAGER; COOPER, 1997).

Figura 3 – Modelo adaptativo de conforto térmico proposto por Dear, Brager e Cooper (1997).



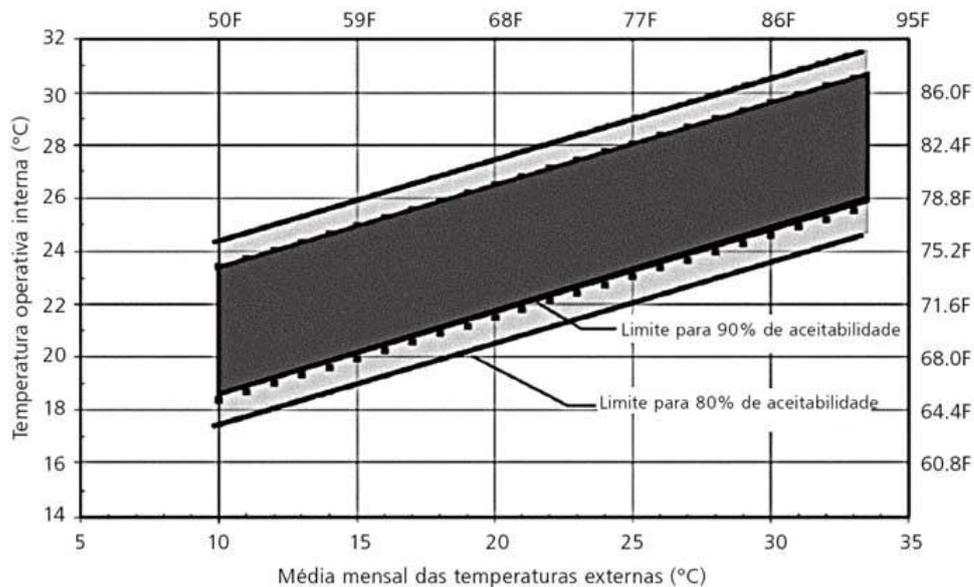
Fonte: ASHRAE RESEARCH PROJECT - 884 (1977).

A norma ASHRAE 55 (2004) apresenta um índice baseado na teoria adaptativa de conforto térmico proposta por Brager e de Dear, com os benefícios de se oferecer o controle de abertura das janelas aos usuários e aumentar os limites de velocidades internas do ar. A norma baseia-se na suposição de um ambiente termicamente uniforme e na possibilidade de se prover controle deste ambiente aos usuários, e estabelece que, desta forma, os usuários irão tolerar maiores flutuações nas condições ambientais. Assim, os projetistas têm maiores condições de estabelecer quando o condicionamento artificial é requerido num edifício e quando é possível incorporar a ventilação natural para se proporcionar o conforto térmico.

Os dados de entrada do índice proposto pela ASHRAE 55 (2004) são a média mensal das temperaturas externas (média aritmética da média mensal das máximas e da média mensal das mínimas) e a temperatura operativa (média aritmética entre o a temperatura interna do ar e a temperatura radiante).

O gráfico da Figura 4, presente no item 5.3 da norma, sintetiza o índice e apresenta as zonas de conforto, onde 90% ou 80% dos usuários estariam satisfeitos.

Figura 4 – Índice de conforto proposto pela ASHRAE 55 (2004).



Fonte: Adaptado de ASHRAE 55 (2004)

No Brasil, também foram desenvolvidos alguns estudos de modelos adaptativos e índices térmicos para conforto em ambientes internos. Destes, destaca-se o trabalho de Xavier (2000), que considerou que a aplicação generalizada da metodologia da ISO 7730 (1994) por meio do modelo PMV/PPD para edificações de distintas situações geográficas e populações, pode levar a sensações térmicas não correspondentes com a realidade, por não considerar características individuais das pessoas. A proposição do modelo dele resultou, considerando dados gerais para todo o território brasileiro, que a temperatura de conforto para pessoas desempenhando atividades sedentárias em ambiente interno é da ordem de 22° C, e a faixa aceitável termicamente é de aproximadamente 20° C a 24° C.

Gonçalves (2000) desenvolveu uma pesquisa em ambiente construído buscando produzir índices, zonas de conforto térmico com seus limites e/ou aceitabilidade para a cidade de Belo Horizonte, levando em conta as características climáticas da região e as atitudes adaptativas das pessoas.

Neste trabalho, a análise do conforto térmico é realizada pelo método adaptativo seguindo o modelo de De Dear e Brager (1998), para a ASHRAE 55 (2010). O modelo relaciona as temperaturas médias mensais externas com as temperaturas internas para estabelecer limites aceitáveis de conforto em edificações

naturalmente ventiladas, com atividade próxima à sedentária. Para estabelecer limites de 80% de aceitabilidade, a temperatura neutra deve estar entre $-3,2^{\circ}\text{C} \leq T_{oc} \leq 3,5^{\circ}\text{C}$.

A Equação 1 define a temperatura operativa de conforto.

$$T_{oc} = 18,9 + 0,255T_{ext} \quad (1)$$

Em que:

T_{oc} = temperatura operativa de conforto
 T_{ext} = temperatura mensal média externa

2.4 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

À medida que a sociedade se torna mais desenvolvida é natural que aumentem as demandas por conforto e o consumo de energia. Sem abdicar do conforto e fazendo uma utilização responsável de cada produto ou serviço, consumindo menos energia, temos o que chamamos de eficiência energética. A eficiência energética é aperfeiçoar o uso de energia com o objetivo de produzir a mesma capacidade de trabalho com menor consumo energético.

Conforme determinação da Abesco (2017), a utilização racional de energia, chamada simplesmente de eficiência energética, consiste em usar de modo eficiente a energia obtendo determinado resultado. Por definição, a eficiência energética consiste da relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização.

Para Salomão (2010), o conceito de eficiência energética transita entre o conceito técnico e o conceito comportamental, em que o técnico é a substituição de equipamentos obsoletos por equipamentos mais eficientes para exercer a mesma tarefa, e o comportamental é o uso racional da energia já disponibilizada, com mudanças de hábitos dos usuários e padrões comportamentais da organização, inclusive dos processos logísticos.

Na arquitetura, a eficiência energética pode ser entendida como um atributo próprio da edificação, representante de seu potencial em possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos usuários, com baixo consumo de energia. Ou seja, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas

condições ambientais com menor consumo de energia (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

A relativização é um aspecto fundamental para o conceito de eficiência energética. Só é possível dizer que um produto é energeticamente eficiente comparando-o com uma referência ou um padrão normativo. Um bom exemplo é o Programa Brasileiro de Etiquetagem, executado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Ele tem o objetivo de informar aos consumidores sobre o desempenho de produtos, por meio das etiquetas, considerando a eficiência energética, o ruído e outros critérios, para que estes possam selecionar produtos e também estimular a competitividade da indústria (INMETRO, 2017).

O Brasil apresenta diversos programas de eficiência energética conhecidos internacionalmente pela sua eficiência, desenvolvidos após diversas crises enfrentadas no setor de energia, destacando-se segundo Brasil (2011), o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), o Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET) e o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). Com maior importância no âmbito deste trabalho para o Procel.

O PROCEL foi criado em 1985 e sua atuação inicial caracterizou-se pela publicação e distribuição de manuais destinados à conservação de energia elétrica entre vários setores sociais (BRASIL, 2011, p.3). Seu foco inicial era o combate ao desperdício de eletricidade, tanto na produção quanto no uso da energia elétrica. Na década de 90, o programa teve o seu intuito ampliado, tornando-se um programa de governo e não mais setorial.

As ações do Procel contribuem para o aumento da eficiência dos bens e serviços, para o desenvolvimento de hábitos e conhecimentos sobre o consumo eficiente da energia e, além disso, postergam os investimentos no setor elétrico, mitigando, assim, os impactos ambientais e colaborando para um Brasil mais sustentável (PROCEL INFO, 2017).

Dentre as áreas de atuação do PROCEL, está a promoção da avaliação da eficiência energética de edificações residenciais, comerciais, de serviços e públicas, em parceria com o INMETRO, que confere a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para as edificações, a Etiqueta PBE Edifica. Estas avaliações são baseadas nos critérios estipulados pelos regulamentos de eficiência energética do

INMETRO, o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações residenciais (RTQ-R) e o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviço e Públicas (RTQ-C), este último utilizado para análise da eficiência energética do escritório das instalações industriais.

2.5 REGULAMENTO TÉCNICO DA QUALIDADE PARA O NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES COMERCIAIS, DE SERVIÇO E PÚBLICAS (RTQ-C)

O Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais de Serviço e Públicas (RTQ-C) especifica requisitos técnicos, bem como os métodos para classificação de edifícios comerciais, de serviços e públicos quanto à eficiência energética, tendo como objetivo criar condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos; etiquetagem de responsabilidade do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), dentro do programa de avaliação da conformidade do Procel Edifica.

O regulamento será discriminado neste item, pois será utilizado para avaliação do edifício de escritório da indústria (sede da empresa).

Os edifícios submetidos a esta regulamentação devem atender a todas as normas da ABNT vigentes e aplicáveis (INMETRO, 2013). No caso de Edificações Públicas Federais, a etiquetagem é de caráter obrigatório, de acordo com a Instrução Normativa MPOG/SLTI nº2, de 4 de junho de 2014 (DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO, 2014).

A concessão da etiqueta é realizada nas diferentes fases do edifício, e dividida em quatro possibilidades de avaliação (envoltória, sistema de iluminação e envoltória, sistema de condicionamento de ar e envoltória ou edificação completa). Conforme o regulamento (INMETRO, 2013), as diferentes fases do edifício são: o projeto de nova edificação, edificação concluída após o Habite-se e edificação existente, após a reforma com vistas à melhoria da eficiência energética.

A classificação da edificação deve atender aos requisitos relativos ao desempenho da envoltória, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar. Para todos os requisitos existe um nível de eficiência que varia de A (mais

eficiente) a E (menos eficiente). Partes do edifício também podem ser classificadas separadamente quanto ao nível de eficiência, recebendo assim a classificação parcial. Apenas no quesito de verificação da envoltória, o nível de eficiência deve ser obtido para toda a edificação. Já o sistema de iluminação e o condicionamento de ar podem ser estabelecidos para um pavimento ou um conjunto de salas (INMETRO, 2013).

O RTQ-C apresenta duas metodologias de avaliação para os edifícios: o método prescritivo e o método de simulação computacional. Carlo e Lamberts (2010) esclarecem que o método prescritivo viabiliza a determinação simplificada do nível de eficiência e aplica-se a grande maioria de tipologias construídas atualmente no país. No entanto, essas simplificações apresentam limitações como, por exemplo, a necessidade de simular a ventilação natural, os limites de uso de diferentes volumetrias para análise da envoltória e a pequena precisão de vidros de elevado desempenho em grandes aberturas envidraçadas. Isso indica ao avaliador considerar o uso de simulação quando o método prescritivo não apresentar os recursos de avaliação adequados, visto se tratar de uma avaliação mais simplificada, enquanto a simulação é uma avaliação global e com mais recursos de modelagem.

2.5.1 Método prescritivo

O método prescritivo é um método simplificado que avalia as edificações por meio de equações. Conforme INMETRO (2013), no método prescritivo, para a classificação geral, as avaliações parciais recebem pesos diferenciados: envoltória (30%), sistema de iluminação (30%) e sistema de condicionamento de ar (40%). Os três itens, somadas as bonificações, são reunidos em uma equação geral de classificação do nível de eficiência do edifício, que dá a pontuação total (PT) conforme a Equação 2.

gerada deve ser comprovada. Elas podem ser relativas à: sistemas e equipamentos que racionalizam o uso de água, tais como torneiras com arejadores, sanitários com sensores e aproveitamento de água pluvial; sistemas de cogeração; inovações técnicas ou outros sistemas que comprovem eficiência energética (INMETRO, 2013).

O método também prevê que se cumpram pré-requisitos gerais, antes de o edifício ser elegível à etiquetagem, sendo eles a utilização de circuito elétrico separado por uso final e, para edificações que utilizem água quente, apresentação de estimativa da demanda, com requisitos específicos para cada sistema de aquecimento.

Além dos pré-requisitos gerais, há pré-requisitos específicos que devem ser atendidos de acordo com os critérios de cada item – Envoltória, Sistema de Iluminação e Sistema de Condicionamento de ar. O nível da classificação de cada pré-requisito equivale a um número de pontos correspondente, para A=5, B=4, C=3, D=2 e E=1.

2.5.1.1 Envoltória

Antes de iniciar a avaliação da envoltória deve ser conferido o atendimento de pré-requisitos específicos. Estes estão relacionados às propriedades dos materiais (transmitância térmica) que compõem a fachada do edifício, cor dos materiais (absortância solar) e a área de aberturas zenitais, avaliando separadamente os sistemas condicionados artificialmente ou não condicionados, a estes atribuídos níveis de energia conforme o atendimento do requisito segundo a Zona Bioclimática correspondente.

No caso da existência de aberturas zenitais, a edificação deve atender ao fator solar máximo do vidro ou do sistema de abertura para os respectivos PAZ (percentual de abertura zenital). Para edificações com PAZ maior que 5%, pretendendo alcançar classificação A ou B, deve-se utilizar simulação computacional.

Neste estudo, localizado na Zona Bioclimática 2, serão avaliados os pré-requisitos atendendo à condição limite dos índices presentes na Tabela 2, conforme informações do regulamento.

Tabela 2 – Pré-requisitos específicos da envoltória para a ZB 2.

Nível de Eficiência	Transmitância térmica		Cores e absorvância de superfícies	Iluminação zenital	
				PAZ max	FSmax
A	Cobertura		Paredes e coberturas: $\alpha < 0,50$	PAZ max	FSmax
	Ed. condic.	0,5 W/m ² K		0 a 2 %	0,87
	Ed. Não condic.	1,00 W/m ² K		2,1 a 3 %	0,67
	Paredes externas: 1,00 W/m ² K			3,1 a 4 %	0,52
				4,1 a 5 %	0,30
B	Cobertura		Paredes e coberturas: $\alpha < 0,50$	PAZ max	FSmax
	Ed. condic.	1,00 W/m ² K		0 a 2 %	0,87
	Ed. não condic.	1,50 W/m ² K		2,1 a 3 %	0,67
	Paredes externas: 2,00 W/m ² K			3,1 a 4 %	0,52
				4,1 a 5 %	0,30
C e D	Cobertura: 2,00 W/m ² K		-	-	
	Paredes externas: 3,70 W/m ² K				

Fonte: Adaptado de INMETRO (2013).

Após a verificação dos pré-requisitos, procede-se a determinação do indicador de consumo da envoltória, o IC_{env} .

De acordo com a Zona Bioclimática (NBR 15220-3) em que o edifício está localizado existem diferentes equações de classificação no RTQ-C. A escolha dessas equações depende também da área de projeção do edifício (A_{pe}) e do fator forma (FF), que é um índice que representa numericamente a volumetria do edifício para o cálculo do índice de consumo, calculado dividindo-se a área de projeção do edifício pelo volume total da edificação. As equações para $A_{pe} > 500 \text{ m}^2$ são válidas para um Fator de Forma mínimo permitido (A_{env}/V_{tot}) e as equações para $A_{pe} < 500 \text{ m}^2$ são válidas para um Fator de Forma máximo permitido (A_{env}/V_{tot}). Acima ou abaixo desses, deve-se utilizar os valores limites.

Para a ZB 2, existem duas equações (Equação 3 e 4):

- $A_{pe} \leq 500 \text{ m}^2$

Limite: Fator de forma máximo (A_{env}/V_{tot}) = 0,70

$$\begin{aligned}
 IC_{env} = & -175,30 FA - 212,79 FF + 21,86 PAF_T + 5,59FS - 0,19 AVS + \\
 & 0,15 AHS E + 275,19 \frac{FA}{FF} + 213,35 \times FAFF - 0,04 PAF_T \times FS \times AVS - \\
 & 0,45 PAF_T \times AHS + 190,42
 \end{aligned} \tag{3}$$

- $A_{pe} > 500 \text{ m}^2$

Limite: Fator de forma mínimo ($A_{env}/V_{tot} = 0,15$)

$$IC_{env} = -14,14 FA - 113,94 FF + 50,82 PAF_T + 4,86FS - 0,32 AVS + 0,26 AHS - \frac{35,75}{FF} + 0,54PAF_T \times AHS + 277,98 \quad (4)$$

Onde as variáveis das equações são:

IC_{env} : Indicador de Consumo da envoltória (adimensional);

A_{pe} : Área de projeção do edifício; (m^2);

A_{tot} : Área total construída (m^2);

A_{env} : Área da envoltória (m^2);

$A_{p_{cob}}$: Área de projeção da cobertura (m^2);

AVS: Ângulo Vertical de Sombreamento;

AHS: Ângulo Horizontal de Sombreamento;

FF: Fator de Forma, (A_{env}/V_{tot});

FA: Fator Altura, ($A_{p_{cob}}/A_{tot}$);

FS: Fator Solar;

PAFT: Percentual de Abertura na Fachada total (adimensional, para uso na equação);

V_{tot} : Volume total da edificação (m^3).

Acima ou abaixo desses, deve-se utilizar os valores limites.

O Índice de Consumo da Envoltória é um índice numérico, e para a determinação da classificação da eficiência é preciso estabelecer os limites numéricos para cada nível. Assim, o procedimento para determinação desses limites é:

- Calcular $IC_{máx}$, que corresponde ao indicador máximo que a edificação deve atingir para obter a classificação. Utiliza-se a mesma equação do IC_{env} , mas com as variáveis para $IC_{máxD}$, de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros do $IC_{máxD}$.

PAF _t	FS	AVS	AHS
0,60	0,61	0	0

Fonte: Adaptado de Inmetro, 2013.

- Calcular o $IC_{mín}$, com as variáveis, de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4 – Parâmetros do IC_{\min} .

PAF _t	FS	AVS	AHS
0,05	0,87	0	0

Fonte: Adaptado de Inmetro, 2013.

- Obter o valor de i (índice), que é o intervalo de mudança de um nível a outro, por meio da Equação 5:

$$i = \frac{IC_{\max D}}{IC_{\min}} \quad (5)$$

- Calcular os limites para cada nível, de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5 – Limites dos intervalos dos níveis de eficiência.

Níveis de Eficiência	Limite Mínimo	Limite Máximo
A	-	$IC_{\max D} - 3i$
B	$IC_{\max D} - 3i + 0,01$	$IC_{\max D} - 2i$
C	$IC_{\max D} - 2i + 0,01$	$IC_{\max D} - i$
D	$IC_{\max D} - i + 0,01$	$IC_{\max D}$
E	$IC_{\max D} + 0,01$	-

Fonte: Adaptado de Inmetro, 2013.

O cálculo do indicador de consumo (IC) visa prever como a envoltória de um edifício vai impactar o seu consumo de energia.

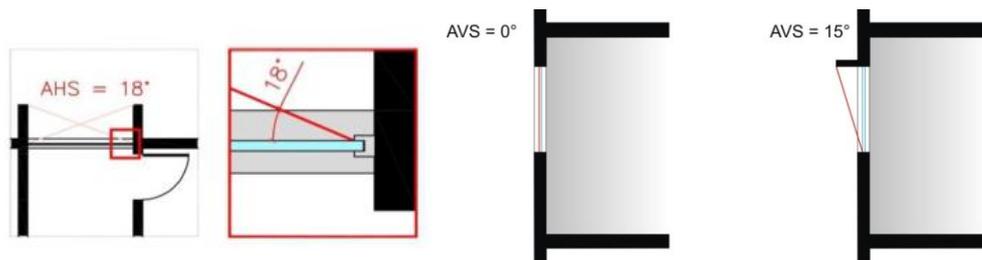
Outro item de avaliação que influenciará no desempenho da envoltória é o sombreamento das aberturas, determinado pelos ângulos horizontais (AHS) e verticais (AVS), que aparecem na equação do indicador de consumo da envoltória. Esses ângulos são medidos entre os planos das folhas de vidro e a aresta mais distante pertencente à proteção solar.

O AHS refere-se aos elementos de proteção solar verticais nas aberturas, formados no plano horizontal (identificados em planta). O AVS refere-se aos elementos de proteção solar horizontais nas aberturas, formados no plano vertical (identificados em corte). Estabelece-se um ângulo final a partir destes, que é o

resultado da média ponderada dos ângulos de sombreamento em função da área de abertura sombreada, considerando para o ângulo final o ângulo máximo de 45° (OLIVEIRA, 2013).

A medição do AHS é feita em planta e do AVS em corte, como exposto na Figura 6.

Figura 6 – Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS) e Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS).



Fonte: INMETRO (2013).

As demais variáveis que aparecem na equação do consumo da envoltória são:

- área de projeção do edifício, que corresponde à média da soma das áreas dos pavimentos;
- área total construída, que corresponde à área total, incluindo as paredes;
- área da envoltória, que é a soma das áreas de todas as fachadas e empenas mais a área de cobertura, desconsiderando subsolos e caixas d' água;
- área de projeção da cobertura, que considera além da área da cobertura, terraços cobertos e descobertos;
- fator forma, que é um índice que representa numericamente a volumetria do edifício para o cálculo do índice de consumo, sendo obtido pela área da envoltória dividida pelo volume total;
- fator altura, que é um índice que representa a razão entre a área de cobertura e a área total construída;
- fator solar, que diz respeito aos ganhos de calor através da radiação incidente em uma abertura, sendo obtido na maioria dos casos em catálogo dos fabricantes ou pode ser calculado de acordo com a NBR 15220 – 2 (ABNT, 2005).

2.5.1.2 Sistema de Iluminação

As diversas atividades realizadas pelos usuários dos ambientes internos dos edifícios necessitam de níveis adequados de iluminação, caracterizados pela iluminância. Para alcançar níveis adequados, utilizam-se tanto iluminação natural quanto artificial.

Nesse contexto, o regulamento (INMETRO, 2013) estabelece pré-requisitos específicos para o sistema de iluminação, correspondentes à divisão dos circuitos por dispositivos independentes em cada ambiente fechado; contribuição da iluminação natural, possuindo acionamento independente da fileira de luminárias mais próxima à janela aproveitando a iluminação natural disponível; e desligamento automático do sistema de iluminação em ambientes com mais de 250 m².

Esses requisitos devem ser avaliados em cada ambiente separadamente, e sua avaliação deverá atender ao nível de eficiência pretendido. Para a classificação no nível A, todos os pré-requisitos devem ser atendidos. Para a classificação em nível B, devem ser atendidos ao menos os pré-requisitos de divisão dos circuitos e contribuição da iluminação natural. Para classificar-se nos níveis C ou D, a edificação necessita pelo menos o atendimento da divisão dos circuitos. O não atendimento de nenhum dos pré-requisitos implica em nível E de energia (INMETRO, 2013).

Após a verificação dos pré-requisitos, inicia-se o procedimento de avaliação do sistema de iluminação, que pode ser avaliado pelo método da área do edifício ou pelo método das atividades do edifício. Ambos os métodos consistem em identificar as principais atividades do edifício, calcular a potência total instalada, encontrar a potência limite por meio das tabelas de cada método e comparar a potência limite com a potência total instalada, e descobrir o Equivalente Numérico (EqNum) do conjunto (INMETRO, 2013).

Segundo o INMETRO (2013), o método da área do edifício avalia de forma conjunta todos os ambientes do edifício e atribui um único valor limite para a avaliação do sistema de iluminação. Este método deve ser utilizado para edifícios com até três atividades principais, ou para atividades que ocupem mais de 30% da área do edifício. O método das atividades do edifício avalia separadamente os ambientes do edifício e deve ser utilizado para edifícios em que o método anterior não é aplicável.

2.5.1.3 Sistema de Condicionamento de ar

No sistema de condicionamento de ar, a verificação dos pré-requisitos específicos atende apenas à classificação para o Nível A de energia. Essa é a condicionante inicial da avaliação, atentando para a definição de uma classificação do sistema em relação ao nível máximo. Os pré-requisitos são avaliados em cada ambiente separadamente, e mesmo que o aparelho seja avaliado pelo INMETRO com o selo Procel A, o não atendimento do pré-requisito rebaixa-o para o Nível B.

Os pré-requisitos referem-se a isolamento térmico para dutos de ar e tubulações de água gelada, e ao condicionamento de ar por aquecimento artificial. Para o isolamento térmico dos dutos, o regulamento estipula espessuras mínimas para sistemas de aquecimento e refrigeração, e para os casos de dutos com condutividade térmica fora da faixa estipulada nas tabelas, deve ser calculada sua espessura mínima. Quanto ao condicionamento de ar por aquecimento artificial, o RTQ-C estipula o atendimento ao requisito por meio de coeficientes de performance (COP) mínimos ou requisitos mínimos de eficiência para a máquina ou sistema.

Segundo o INMETRO (2013), a avaliação do sistema de condicionamento de ar pode ser realizada por meio de dois métodos, um para aparelhos avaliados pelo PBE/INMETRO e outro para aparelhos não avaliados e sistemas centrais.

Para aparelhos avaliados pelo PBE/INMETRO, deve-se adotar a classificação da ENCE (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia) obtida nas tabelas do PBE/INMETRO e identificar o equivalente numérico que foi apresentado na Figura 1, considerando a última versão publicada na página eletrônica do INMETRO.

Para aparelhos não avaliados, estes serão classificados de acordo com níveis de energia, atendendo a requisitos mínimos para cada nível.

No caso de haver mais de um sistema independente de condicionamento de ar no edifício, os níveis de eficiência de cada sistema independente devem ser encontrados, e seus equivalentes numéricos ponderados pela capacidade dos seus respectivos sistemas, a fim de estimar o equivalente numérico final envolvendo todos os sistemas de condicionamento de ar e, portanto, o nível de eficiência do sistema de condicionamento de ar do edifício.

Porém, todo sistema deve atender também às especificações dos seguintes requisitos: cálculo de carga térmica, controle de temperatura por zona, automação, isolamento de zonas, controles e dimensionamento do sistema de ventilação,

recuperação de calor, controles e dimensionamento dos sistemas hidráulicos, equipamentos de rejeição de calor e controle de velocidade do ventilador.

2.5.2 Método de simulação computacional

O método de simulação apresenta pré-requisitos específicos quanto ao programa de simulação e o arquivo climático utilizado, descritos a seguir, no item 2.5.2.1 deste trabalho.

Por meio da simulação, compara-se o consumo do projeto proposto (real) com o consumo do projeto de referência, considerando que o consumo de energia do projeto proposto deve ser igual ou menor do que o consumo do edifício de referência (INMETRO, 2013).

Para classificação do edifício completo pelo método de simulação, ambos os modelos devem ser simulados usando o mesmo programa de simulação, com mesmo arquivo climático, geometria, orientação solar, padrão de uso e operação dos sistemas (padrão de uso e ocupação real da edificação), valor de DCI em equipamentos, tipo de sistema de condicionamento de ar, setpoint para resfriamento e aquecimento. Entretanto, para o modelo de referência deve-se utilizar o COP estabelecido pelo método prescritivo, de acordo com o nível de eficiência pretendido. No caso de sistemas com condicionamento de ar para aquecimento, para alcançar o nível A, os pré-requisitos de eficiência devem ser modelados conforme os requisitos para condicionamento de ar por aquecimento artificial por meio de coeficiente de performance (COP) mínimos ou requisitos mínimos de eficiência para a máquina ou sistema, presentes no regulamento (INMETRO, 2013).

2.5.2.1 Parâmetros para a Simulação Computacional

A simulação computacional do RTQ-C estipula pré-requisitos quanto ao *software* de modelagem e o arquivo climático utilizado.

Segundo o INMETRO (2013), o *software* deve ser um programa para a análise do consumo de energia em edifícios, validado pela ASHRAE Standard 140, com capacidade de modelar 8760 horas por ano. Deve modelar variações horárias de ocupação, potência de iluminação e equipamentos, e sistemas de ar condicionado, definidos separadamente para cada dia da semana e feriados.

Também é pré-requisito à modelagem dos efeitos da inércia térmica, ter capacidade de simular as estratégias bioclimáticas e permitir a configuração de multizonas térmicas.

Caso o edifício proposto utilize sistema de condicionamento de ar, o programa deve permitir modelar todos os sistemas de condicionamento de ar listados no Apêndice G da ASHRAE 90.1 e determinar a capacidade solicitada pelo Sistema de Condicionamento de Ar. Ao final, o *software* deve produzir relatórios horários do uso final de energia (INMETRO, 2013).

Quanto ao arquivo climático utilizado, deve fornecer valores horários para todos os parâmetros relevantes requeridos pelo programa de simulação, tais como temperatura e umidade, direção e velocidade do vento e radiação solar. Esses dados climáticos devem ser representativos da Zona Bioclimática onde o projeto proposto será locado e, caso o local do projeto não possua arquivo climático, deve-se utilizar dados climáticos de uma região próxima que tenha características climáticas semelhantes (INMETRO, 2013).

O regulamento ainda estipula a obrigatoriedade de serem utilizados arquivos climáticos em formatos publicados no www.eere.energy.gov (TRY, TMY, SWEC, CTZ2 etc.). Caso contrário, o arquivo climático deve ser aprovado pelo laboratório de referência.

O *software* utilizado neste trabalho, e que corresponde às características mencionadas anteriormente, é o *EnergyPlus*, com utilização do arquivo climático TMY disponibilizado no site do LABEEE da Universidade Federal de Santa Catarina (LABEEE, 2015).

2.5.2.2 Modelo do Edifício Real

Segundo o INMETRO (2013), o modelo do edifício real deve apresentar todas as características do projeto proposto. Deve representar todos os sistemas de condicionamento de ar existentes de cada zona térmica, possibilitando o uso em somente alguns períodos do ano, e podendo incluir a opção de abertura de janelas com ventilação natural nestas áreas consideradas condicionadas, desde que seja comprovado conforto térmico (de acordo com o item 6.2.2 do regulamento) no período total em que o sistema de condicionamento de ar não foi utilizado nas horas de ocupação. Ainda, utilizar a DPI (Densidade de potência instalada) do projeto

proposto, considerar dispositivos de sombreamento quando os mesmos estiverem acoplados no edifício proposto. O sombreamento proveniente do entorno pode fazer parte do método de simulação (uso opcional) e, quando usado, deve ser incluído somente no modelo do edifício real.

2.5.2.3 Modelo do Edifício de Referência

Conforme o INMETRO (2013), o modelo de referência deve ser simulado considerando que a envoltória deve atingir o nível de classificação pretendido descrito no método prescritivo. Deve-se utilizar a equação cuja volumetria indicada seja semelhante à do projeto e adotar o valor de IC_{env} do limite máximo do intervalo do nível de classificação almejado. Caso o fator de forma do edifício projetado esteja acima ou abaixo do Fator de Forma limite da equação, deve-se utilizar o valor limite para a definição nos modelos.

Nos modelos, devem ser utilizados os valores máximos de transmitância térmica e de absorvância solar para o nível de eficiência pretendido, de pré-requisitos específicos da envoltória, além de calcular o PAFT para a ZB 2 com valores de $AVS=0$ e $AHS=0$, adotando um vidro simples 3mm, com um fator solar de 0,87. O valor de PAFT deve ser o maior possível para o nível de eficiência pretendido.

A Densidade de Potência de Iluminação (DPI) deve ser modelada dentro dos limites máximos em função dos índices de ambiente, da atividade, e do nível de eficiência almejado (A, B, C ou D);

Para o sistema de condicionamento de ar, adotar o mesmo sistema proposto no Modelo Real, com sua eficiência de acordo com o nível de classificação pretendido (A, B, C, D ou E) que é apresentado nas tabelas do regulamento, para diferentes aparelhos ou sistemas.

O número máximo de horas não atendidas nos modelos (tanto real quanto de referência) é de 10% das horas de funcionamento do sistema de condicionamento de ar. A capacidade do sistema de condicionamento de ar dos modelos de referência deve ser dimensionada de forma a atender à exigência das horas não atendidas limite.

2.5.2.4 Pontuação total

O Equivalente Numérico de Simulação (EqNumS) para os edifícios simulados deverá ser calculado através de interpolação linear entre os consumos calculados nos modelos de referência que definem a classificação da etiqueta. A Pontuação Total será calculada pela Equação 6. Os equivalentes numéricos para os níveis de eficiência de cada requisito são os obtidos na Figura 5.

$$PT = EqNumS + B_0^1 \quad (6)$$

Nos edifícios que possuem sistema de condicionamento de ar e ventilação natural, o Equivalente Numérico de Ventilação (EqNumV) deve ser maior ou igual ao EqNumS. Nos casos em que esta condição não for atendida, a classificação final será dada pelo EqNumV.

Edifícios que possuem apenas ventilação natural devem utilizar a Equação 2 para obtenção da Pontuação Total.

Para edifícios naturalmente ventilados ou que possuam áreas de longa permanência não condicionadas, o regulamento determina a obrigatoriedade de comprovar por simulação que o ambiente interno das áreas não condicionadas proporciona temperaturas dentro da zona de conforto durante um percentual das horas ocupadas (POC). Deve ser especificada a metodologia de conforto adotada (ASHRAE 55, ISO 7730 etc.), bem como o atendimento às normas da ABNT de conforto acústico vigentes.

A Tabela 6 indica o EqNumV a ser usado na Equação 2 para o EqNumV, que pode variar de acordo com o percentual de horas ocupadas em conforto (POC) que foi alcançado na simulação.

Tabela 6 – Equivalentes numéricos para ventilação natural

Percentual de horas Ocupadas em Conforto	EqNumV	Classificação Final
POC ≥ 80%	5	A
70% ≤ POC < 80%	4	B
60% ≤ POC < 70%	3	C
50% ≤ POC < 60%	2	D
POC < 50%	1	E

Fonte: Adaptado de INMETRO, 2013.

2.6 DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DE AMBIENTES INDUSTRIAIS

Segundo o relatório síntese do Balanço Nacional de Energia (BEN) do ano de 2016, com ano base de 2015, o setor industrial continua sendo o maior consumidor de energia elétrica, responsável por consumir 37,6% da energia.

O consumo de energia nas indústrias é em função de variáveis que utilizam diretamente a energia, como os sistemas de iluminação artificial, de equipamentos e de condicionamento de ar, e de variáveis que interferem nestes sistemas, como partes da envoltória da edificação e a forma de uso de tais sistemas consumidores de energia.

Trabalhos na área de eficiência energética vêm sendo discutidos e aplicados nas mais variadas plantas industriais, com foco principalmente em iluminação e sistemas de condicionamento de ar, priorizando a correção de fatores de potência de energia, reconstrução de tarifa de energia elétrica, substituição dos antigos sistemas de iluminação artificial por novos mais eficientes, substituição de motores superdimensionados e implantação de sistemas de condicionamento de ar cada vez mais eficientes.

Quando se tratam de trabalhos acadêmicos na área de eficiência energética industrial com foco na envoltória da edificação, as publicações são escassas, porém há empresas no mercado prestando consultoria na área.

A edificação também contribui para o consumo através das trocas térmicas entre os ambientes interno e o externo: em climas quentes os ganhos térmicos são maiores e, juntamente com os ganhos internos de ocupação e de equipamentos e da iluminação, produzem uma carga térmica que deve ser compensada pelo sistema de condicionamento de ar (CARLO, 2008).

Nesse sentido, deve-se pensar na eficiência energética de instalações industriais como um todo, de forma que os ambientes propiciem conforto aos seus usuários com menores gastos de energia. Além da importante redução de consumo por máquinas e motores e outras cargas internas que devem ser ajustadas para serem o mais eficiente possível, a envoltória das edificações também é fator determinante.

Estudos apresentados pelo grupo Saint – Gobain (2016) realizados para uma de suas unidades fabris na cidade de Capivari – SP, demonstraram, por meio de simulação computacional, a redução no consumo de energia elétrica ao utilizarem-

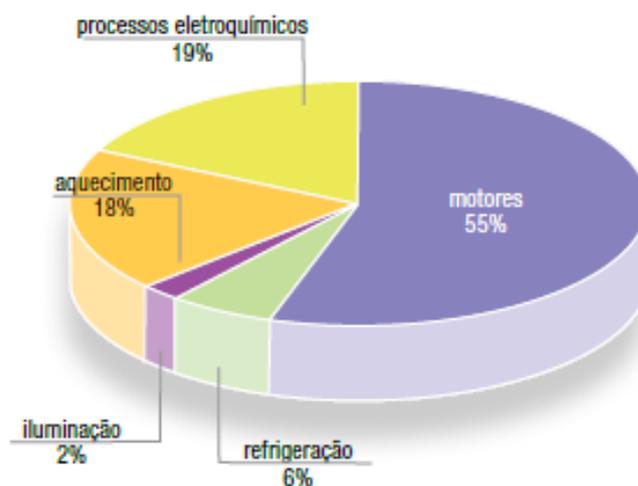
se de materiais de baixa transmitância térmica em paredes e coberturas aliada à iluminação eficiente comparados aos materiais e equipamentos usualmente utilizados.

Malheiros (2005) estudou o desempenho térmico de edificações industriais na cidade de Panambi/RS, mesma Zona Bioclimática de realização deste trabalho, destacando que as melhores condições térmicas internas podem ser alcançadas com a redução da transmitância térmica de paredes e coberturas; aumento da inércia térmica dos fechamentos opacos verticais; redução da absorvância solar dos fechamentos opacos; ventilação por meio de lanternim, com controle das aberturas, e tratamento externo da edificação com o uso de vegetação como barreira de vento e da radiação excessiva, criando um microclima mais ameno.

2.7 GERAÇÃO DE CALOR INTERNO EM AMBIENTES INDUSTRIAIS

A geração de calor interno em uma edificação industrial pode ser fruto do sistema de iluminação, das máquinas e motores, da ocupação, entre outros. O manual de Sistemas Motrizes da Elektro (ELEKTRO, 2016) apresenta a relação de consumo de energia em um ambiente industrial, conforme a Figura 7.

Figura 7 – Consumo de energia elétrica nas indústrias.



Fonte: Elektro, 2016.

Como se observa, os maiores consumidores de energia são os motores, seguidos de processos típicos de algumas indústrias, como processos eletroquímicos, refrigeração e aquecimento e, por último, menos significativo, a iluminação e a ocupação, esta última não se fazendo presente no gráfico.

Neste trabalho, o estudo da geração de calor interno em ambientes industriais será considerado para o cálculo das cargas internas utilizadas nas simulações computacionais de fluxos térmicos e análise do conforto térmico no pavilhão industrial.

2.7.1 Sistema de iluminação

A iluminação é um dos elementos mais importantes na arquitetura. Além de possibilitar a criação de cenários ou a valorização de obras e monumentos, ela é responsável pela qualidade nos ambientes de trabalho atrelada à execução de tarefas, garantindo que se tenha o melhor rendimento possível na atividade executada com a iluminação dos postos de trabalho e tendo uma percepção visual mais apurada mantendo o nível de iluminação adequado. Porém, apesar dos benefícios, ela é um sistema altamente consumidor de energia e responsável pela geração de calor nos ambientes.

Nos ambientes residenciais, comerciais e de serviços, o sistema de iluminação é um dos vilões do consumo, o que não ocorre nos ambientes industriais, devido ao alto consumo dos outros sistemas se comparados à iluminação. Porém, da mesma forma, deve-se pensar na eficiência energética desse sistema.

A eficiência energética pode ser aplicada em vários segmentos do setor industrial, de várias formas, desde a geração de energia até a fonte consumidora. Uma indústria que prima pela eficiência energética deve investir na sua manutenção, por meio de tecnologia moderna e adequada à estrutura, não somente a manutenção corretiva, mas, sobretudo, a preventiva, evitando assim o alto desperdício de energia elétrica na iluminação que é causado por perdas e desperdícios.

A EPE (2007) esclarece que a busca por equipamentos que proporcionem o mesmo ou maior índice luminotécnico, com menor gasto de energia elétrica, acelerou nas últimas décadas, assim como o desenvolvimento de técnicas de

iluminação voltadas à eficiência energética, principalmente no quesito lâmpadas mais eficientes.

Nas instalações industriais, com pé direito acima de 6 m, é mais frequente o uso de luminárias de fecho de abertura média para lâmpadas de descarga, preferencialmente lâmpadas a vapor de mercúrio, sódio ou vapores metálicos, que se utilizam de reatores.

Galina e Cavalcanti (2012) especificam que os reatores devem ser escolhidos pelo seu rendimento, fator de fluxo luminoso e preferencialmente possuir alto fator de potência, de forma a contribuir para a elevação do fator de potência geral do sistema elétrico. O uso de reatores do tipo eletrônico, com melhores rendimentos energéticos, é outro fator preponderante na minimização da densidade de potência instalada.

Além dos reatores, a eficiência luminosa das fontes é importante para a elaboração de projetos mais eficientes. A escolha das luminárias e lâmpadas é baseada na função das atividades desenvolvidas no ambiente, que exigem níveis adequados a cada atividade. No Brasil, os níveis de iluminação são especificados pela norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013). É válido lembrar que nesse processo de projeto e de eficiência energética deve ser considerado o uso da iluminação natural.

Além do nível de iluminação, outros fatores como conforto visual, estética, índice de proteção do equipamento adequado para o ambiente (IP) são variáveis que deverão ser analisadas pelo projetista. No mercado, há uma infinidade de luminárias, lâmpadas, reatores e acionamentos que podem atender aos requisitos, cabe então ao projetista realizar o projeto de forma a atender os requisitos de iluminação suficientes, sem extrapolar os índices de eficiência mínimos (FROZZA, 2013).

Aliada à eficiência energética e aos níveis de iluminação suficientes para o local, os projetos de iluminação interna devem buscar também boas condições de visibilidade e de reprodução de cores (IRC), facilidade e menores custos de manutenção, preço inicial compatível, utilização de iluminação local de reforço; e combinação de iluminação natural com artificial.

Guilliod e Cordeiro (2010) definem quinze oportunidades de conservação de energia em sistemas de iluminação predial, mas que podem ser utilizadas para a indústria:

- identificar no sistema de iluminação os pontos de consumo elevado e desnecessário de energia elétrica;
- realizar periodicamente campanhas de uso racional de energia para combater os desperdícios originados nos hábitos de consumo;
- adequar os níveis de iluminação aos locais de trabalho e de circulação;
- substituir lâmpadas ineficientes;
- remover lâmpadas desnecessárias;
- usar preferencialmente luminárias abertas, retirando o protetor de acrílico (quando necessário) para obter uma redução de até 50% do número de lâmpadas;
- modificar os sistemas de controle liga-desliga do sistema de iluminação para facilitar o desligamento de áreas eventualmente sem uso;
- substituir reatores de baixo rendimento;
- melhorar a manutenção do sistema de iluminação;
- projetar corretamente novos sistemas de iluminação;
- desligar luzes de dependências que não estiverem em uso;
- adequar os níveis de iluminamento ao tamanho do ambiente e tipo de atividade;
- na iluminação exterior utilizar lâmpadas de vapor de sódio com controle por células fotoelétricas;
- substituir luminárias por outras que melhorem o rendimento luminoso do conjunto luminária/lâmpada;
- utilizar iluminação complementar sobre superfícies de trabalho, tais como pranchetas, mesas de computador, mesas de trabalho e outros, para complementar a necessidade de maior iluminação no ambiente de trabalho.

É importante que seja feito um bom projeto luminotécnico, tornando a iluminação o mais uniforme possível, utilizando lâmpadas de baixo consumo, observando a relação entre iluminâncias de pontos de menor e maior iluminamento, que não deve ser menor que 0,70, atentando-se com o posicionamento das luminárias nas indústrias devido à operação de ponte-rolantes, verificar se os sistemas de iluminação estão adequados com os níveis recomendados e se estão sendo utilizados de forma correta. E, mais importante que isso, sempre que possível

fazer o uso da iluminação natural, aliada à pintura de paredes e tetos em cores claras para diminuir a necessidade de iluminação artificial.

2.7.2 Máquinas e motores

Grande parte do consumo de energia elétrica das indústrias, cerca de 55%, destina-se à alimentação de motores (ELEKTRO, 2016). Como mencionado anteriormente, as indústrias representam 37,6% do consumo de energia elétrica nacional (BEN, 2016), ou seja, os motores são responsáveis por aproximadamente 21% do consumo da energia elétrica distribuída no Brasil.

A escolha do motor que irá compor um determinado equipamento geralmente é feita pelo menor custo inicial, desprezando-se os custos de operação, ocasionando posteriormente maiores gastos com energia em função das perdas e do rendimento destas máquinas. As máquinas elétricas trifásicas tendem a ser mais eficientes pela utilização plena dos circuitos magnéticos.

Alguns dos fatores que influenciam o desempenho do motor de indução trifásico são o dimensionamento incorreto, o desequilíbrio entre fases e a variação da tensão de alimentação em relação à nominal (CAMPANA et al., 1999). Para Garcia (2003), deve ser considerada também a influência de outros fatores como o motor rebobinado, instalação inadequada, alimentação elétrica e manutenção. Mas a maior ocorrência de uso ineficiente dos motores é o seu superdimensionamento.

Para Santos et al. (2005), os motores de alto rendimento apresentam em média rendimentos 10% superiores aos rendimentos dos motores convencionais de baixa potência (na faixa de 1 a 5 CV) e 3% superiores aos rendimentos de motores convencionais de potência elevada (200 CV). Quanto ao fator de potência, os motores eficientes não são necessariamente mais eficientes do que os convencionais, mas seu uso é interessante nos casos de motores de baixa potência, elevado fator de carga e longas horas de operação, novas aplicações e em determinados casos onde o rebobinamento for necessário. Nesses casos, a economia prevista em força motriz, com a substituição dos principais motores por equipamentos mais eficientes, é da ordem de 32%.

Outra medida de eficiência energética que pode ser adotada ao invés da substituição dos motores é a correção do fator de potência, por ser simples e não muito dispendiosa, não devendo ser encarada como um impedimento na avaliação

da possibilidade de substituição de motores. Porém, no caso de substituí-los, deve-se sempre optar pelos modelos já contemplados nas qualificações do INMETRO, baseado em projeto adequado.

Deve-se atentar também, para o atendimento à portaria Interministerial nº 553 de 8 de dezembro de 2005 (BRASIL, 2005), a qual instituiu um Programa de Metas para motores elétricos de indução trifásicos, o qual determina que a fabricação ou importação de motores elétricos de indução trifásicos apresente rendimentos nominais mínimos sem a distinção dos níveis de rendimento nominal entre as linhas padrão e alto rendimento de motores elétricos de indução.

2.7.3 Ocupação

O corpo humano também funciona como uma máquina e, como toda máquina, gera calor. Conforme Silva (1969, p. 184), as pessoas fornecem calor sensível e latente, sendo este calor uma carga térmica praticamente instantânea.

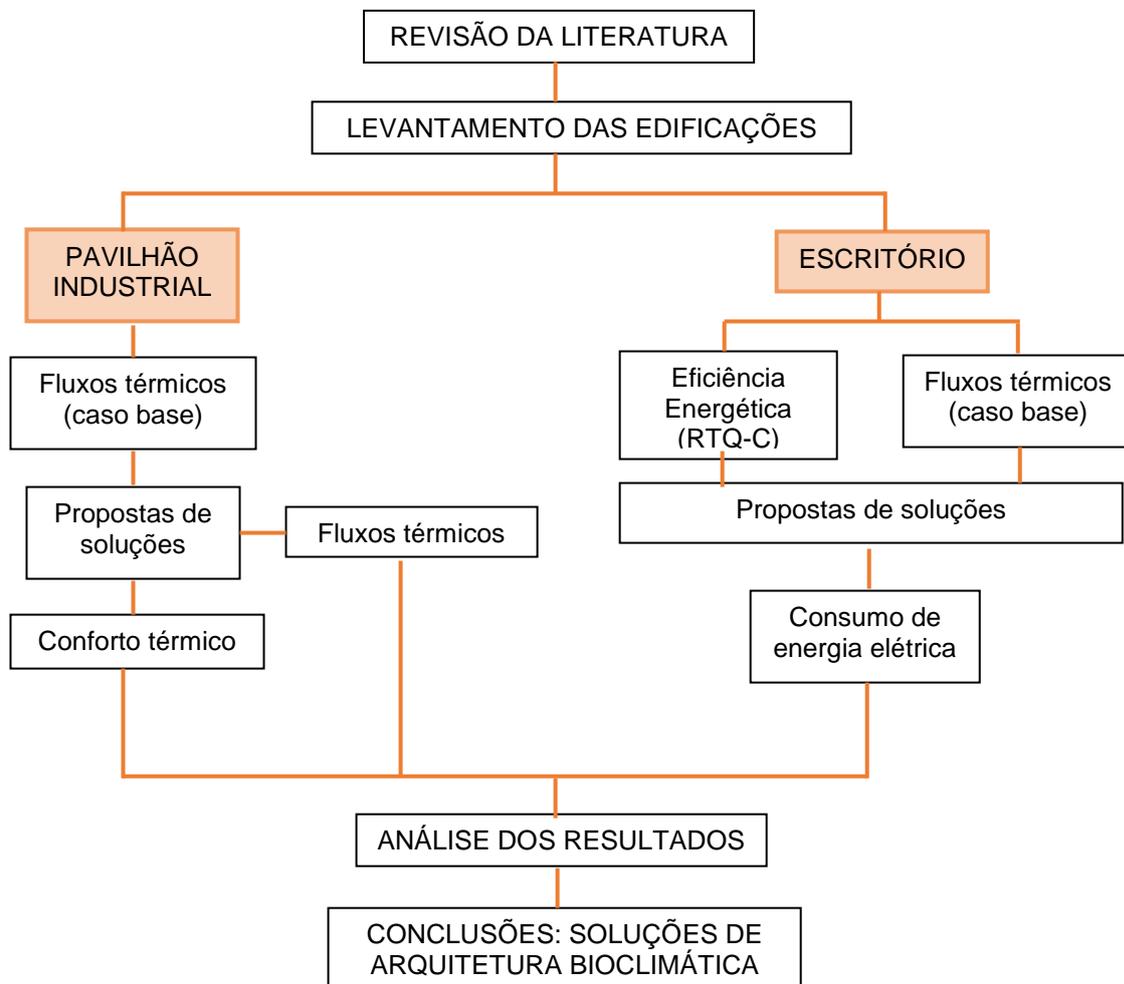
O calor gerado pela ocupação depende da atividade que as pessoas estão desenvolvendo em determinado local. A NBR 16401-1 (ABNT, 2008) estabelece as taxas típicas de calor liberado pelas pessoas de acordo com o nível de atividade e o local em que se encontram. Uma pessoa (homem/mulher) em uma atividade moderada em um escritório, por exemplo, libera uma taxa típica de calor total de 130 W, sendo 75 W de calor sensível e 55 W de calor latente; em uma fábrica, em trabalho leve em bancada, a pessoa liberaria uma taxa de calor total de 220 W, sendo 80 W de calor sensível e 140 W de calor latente.

Além da geração de calor por conta da ocupação, é importante a percepção do comportamento do usuário como gerente de processos em todos os sistemas envolvidos. É o usuário que terá o poder de comando nas ações de eficiência energética, seja controlando a iluminação, condicionamento de ar ou nas ações de comando de equipamentos e engenharia de produção.

3 METODOLOGIA

A metodologia a seguir descrita é uma análise do diagnóstico quanto ao desempenho termoenergético de edificações e de proposições para redução do consumo de energia e melhoria no conforto térmico. Ela será dividida em duas partes: uma para a análise do pavilhão industrial e outra para a análise da edificação que comporta o escritório da empresa (sede), devido ao fato de apresentarem uso e sistemas de climatização distintos. A metodologia é resumida no esquema apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Esquema resumo da metodologia aplicada no trabalho.



Fonte: Autora.

Para o edifício de escritórios, climatizado artificialmente, foi abordada a metodologia do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência

Energética de Edificações Comerciais, Públicas e de Serviço (RTQ-C), conforme este considera que possam ser avaliadas as sedes de indústrias, e desconsiderada a avaliação para os pavilhões industriais. Nesta metodologia, foram classificados o sistema da envoltória do edifício e os sistemas de iluminação e condicionamento de ar pelo método prescritivo do RTQ-C. Em seguida, foi aplicada a análise do RTQ-C por simulação computacional, considerando a avaliação por modelos de níveis de energia diferentes, para se chegar a um valor pretendido e verificar a necessidade de melhorias na situação real.

Para o pavilhão industrial, em que não se aplica a metodologia anterior, e devido ao fato de apresentar os maiores gastos de energia gerados pela carga de equipamentos e também pela ausência de um sistema de condicionamento de ar artificial que possa elevar esse consumo de energia, foi feita uma avaliação de conforto térmico pelo método adaptativo.

Para ambos os casos foram analisados, por simulação computacional, os fluxos térmicos nas edificações, para que se possa identificar onde ocorrem as principais perdas e/ ou ganhos e, somando-se às outras análises, viabilizar a proposição de estratégias bioclimáticas para a redução do consumo de energia e melhoria no conforto térmico do conjunto.

3.1 LEVANTAMENTO DAS EDIFICAÇÕES ESTUDO DE CASO

O estudo de caso para a realização do trabalho, na cidade de Santa Maria – RS, partiu da premissa que a cidade tem no setor industrial a maior quantidade de indústrias instaladas pertencentes ao setor metalomecânico, com características construtivas semelhantes à edificação escolhida para estudo.

A indústria metalomecânica incorpora todos os segmentos responsáveis pela transformação de metais nos produtos desejados, desde a produção de bens até serviços intermediários, incluindo máquinas, equipamentos e peças para veículos e materiais de transporte. Apresenta nos seus procedimentos fabris alta geração de calor devido, principalmente, aos processos que utilizam soldagem de peças e secagem da pintura através de fornos elétricos.

É uma indústria com organização funcional recorrente em que as atividades fabris concentram-se em separado das atividades administrativas, assim como é

recorrente a utilização de fechamentos metálicos para as estruturas pré-moldadas de concreto nas tipologias industriais de forma geral.

O município de Santa Maria está localizado no Sul do Brasil, na região central do Estado do Rio Grande do Sul, com latitude de 29°41'02"S e longitude de 53°48'25"W, distante aproximadamente 293 Km da capital Porto Alegre (AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE SANTA MARIA, 2015).

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima é temperado úmido com verão quente, possuindo estações bem definidas e inverno ameno, com chuvas distribuídas em todos os meses ao longo do ano (MORENO, 1961). E segundo a NBR 15220 - 3 (ABNT, 2005), a cidade está localizada na Zona Bioclimática 2 Brasileira.

A edificação escolhida para o desenvolvimento do trabalho localiza-se no Distrito Industrial de Santa Maria (DISM), conforme a Figura 9.

As instalações industriais (Figura 10) são compostas pela edificação do escritório, o pavilhão industrial e uma edificação de apoio, anexa ao pavilhão, que comporta o refeitório e vestiários, esta última não sendo considerada nas análises devido ao uso eventual.

Figura 9 – Localização da Edificação estudo de caso no DISM.



Fonte: Google Earth, 2015.

Figura 10 – Imagem aérea das instalações industriais

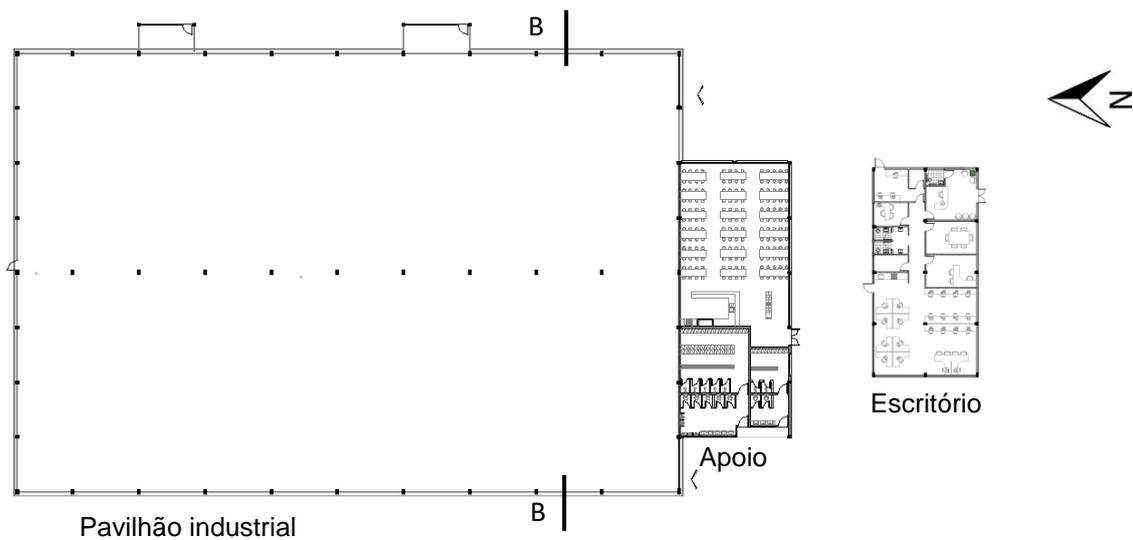


Fonte: Fornecida pela empresa proprietária.

Em ambas as edificações, as principais fachadas estão voltadas à orientação sul, estando as maiores fachadas do pavilhão voltadas a leste - oeste e do escritório a norte - sul.

O projeto apresenta plantas retangulares, conforme a Figura 11.

Figura 11 – Planta Baixa do Pavilhão industrial e escritório da edificação estudo de caso.



Fonte: Fornecida pela empresa proprietária.

O pavilhão industrial apresenta estrutura pré-moldada de concreto (Figura 12), que é revestida por placas cimentícias até meia-altura (na cor natural das

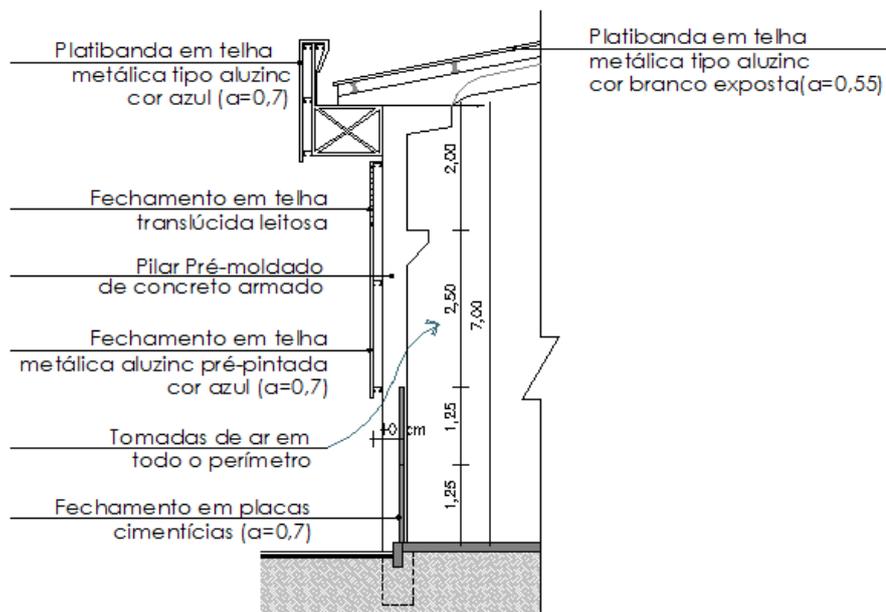
placas, $\alpha = 0,7$) e o restante composto por fechamento de telhas metálicas, com espaçamento entre os dois materiais para a ventilação, conforme a Figura 13. O fechamento metálico do pavilhão (Figura 10) é composto por telhas metálicas de aluzinc do tipo trapezoidal. O aluzinc ou aço galvalume, como é comumente chamado, possui uma combinação em seu revestimento de 55% de alumínio, 43,5% de zinco e 1,5% de silício como catalizador de coloração azul - escuro ($\alpha = 0,7$). O mesmo fechamento é utilizado na cobertura de ambos os prédios, porém esta apresenta coloração branca, e devido à exposição ao tempo, foi considerada sua absorvância solar 0,55.

Figura 12 – Foto da execução da obra mostrando a estrutura pré-moldada de concreto.



Fonte: Fornecida pela empresa proprietária.

Figura 13 – Corte representando a abertura de ventilação no pavilhão industrial (corte no sentido BB)



Fonte: Fornecida pela empresa proprietária.

A iluminação natural no pavilhão é feita por fechamento lateral translúcido (telhas translúcidas leitosas), o qual substitui uma das fileiras do fechamento metálico na parte próxima à cobertura. Este fechamento possui altura de 1m e seu comprimento é a própria extensão do prédio nas fachadas leste, oeste e norte. Na Figura 14, observa-se o fechamento translúcido pelas vistas interna e externa.

Figura 14 – Fechamento translúcido na fachada do pavilhão industrial.



(a) vista interna



(b) vista externa

Fonte: Autora.

A Figura 15 é uma amostra do pavilhão analisado internamente em que se pode observar a estrutura, os fechamentos e o piso de alta resistência em concreto.

Figura 15 – Imagem interna do pavilhão industrial analisado.



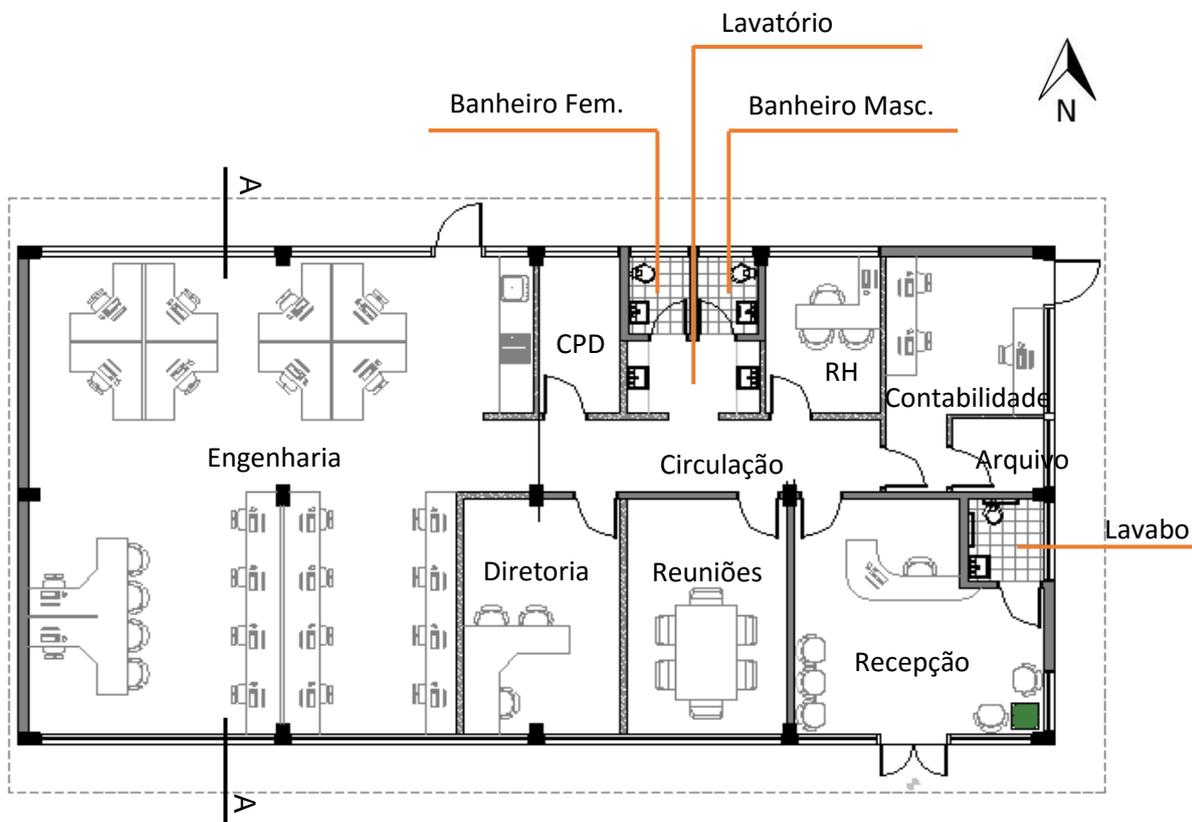
Fonte: Autora.

O escritório é composto por estrutura de concreto armado com vedação externa em alvenaria, paredes divisórias em gesso acartonado e cobertura em telhas metálicas do tipo sanduíche (as mesmas telhas do pavilhão com preenchimento em EPS). No escritório, a parede oeste é dupla, com isolamento em lã de rocha entre elas e rebocadas nas faces externas, diferente das demais paredes externas que são em alvenaria de tijolo cerâmico (9 x 14X 24 cm) rebocadas em ambas as faces, pintadas internamente na cor branca ($\alpha=0,2$) e externamente na cor azul-claro ($\alpha=0,6$).

As absortâncias solares consideradas neste trabalho são baseadas na NBR 15220 (ABNT, 2005) e em Dornelles (2008).

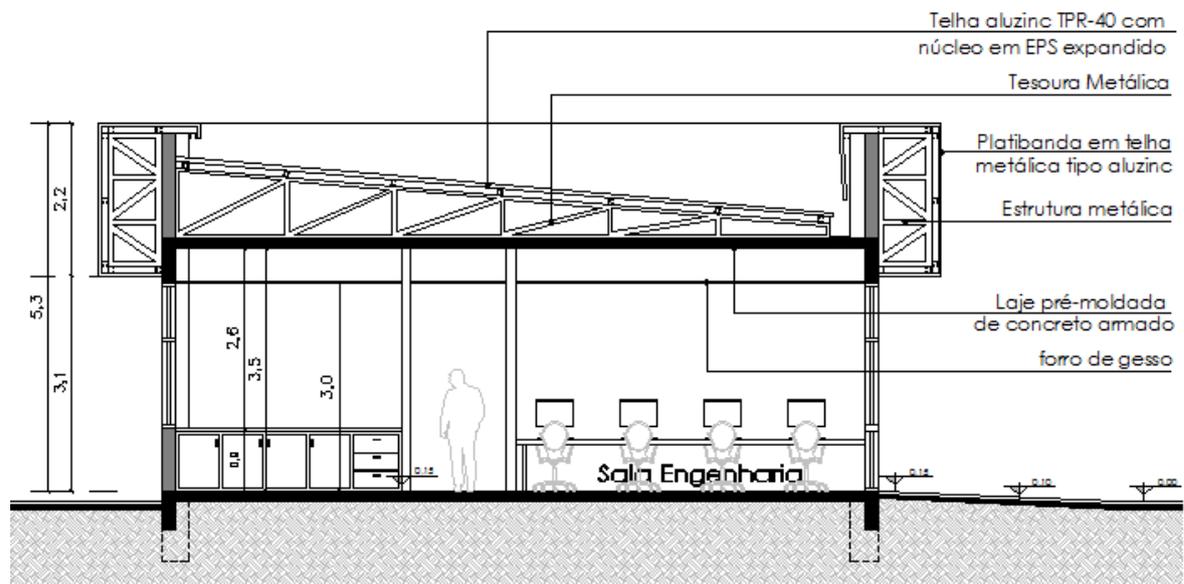
Os ambientes que compõem o escritório e farão parte integrante da análise estão dispostos na planta baixa da Figura 16. A Figura 17 apresenta um corte da edificação detalhando a cobertura, a projeção da platibanda e o pé-direito configurado com o forro de gesso. Na Figura 18, observa-se o ambiente de engenharia, com detalhe para a fachada envidraçada a sul.

Figura 16 – Planta Baixa do escritório.



Fonte: Fornecida pela empresa proprietária.

Figura 17 – Corte AA



Fonte: Fornecida pela empresa proprietária.

Figura 18 – Área de engenharia do escritório da empresa.



Fonte: Autora.

Para as análises realizadas por simulação computacional, os banheiros masculino e feminino e lavatório serão considerados uma única zona térmica, pois se tratam de um ambiente de permanência transitória de análise não relevante.

As características construtivas e as propriedades termofísicas dos materiais que compõem o projeto são apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Materiais componentes das edificações objeto de estudo e suas características térmicas.

Materiais utilizados		Características Térmicas				
Materiais	Espessura (cm)	Condutiv. Térmica (W/m-K)	Densidade (kg/m ³)	Calor espec. (J/kg-K)	Absort. Térmica	Absort. Solar
Concreto (laje)	15	1,75	2200	1000	0,90	0,7
Concreto (placa)	8	1,75	2200	1000	0,90	0,7
Tijolo cerâmico (9X14X24)	8 (parede equivalente)	1,05	706,52	920	0,70	0,85
Argamassa ext/int	2,5	1,15	2000	1000	0,95	0,6
Chapa metálica* (telha cobertura)	0,6	65	3750	460	0,90	0,55
Chapa metálica* (telha parede)	0,6	65	3750	460	0,90	0,70
EPS	2,5	0,04	20	142	0,9	0,2
Lã de rocha	3	0,045	50	700	0,9	0,3
Gesso	13	0,35	850	840	0,9	0,2
PVC (forro)	1	0,2	1400	753	0,93	0,2
Madeira (portas escritório)	4	0,15	450	230	0,95	0,2

*Especificações segundo GalvInfoNote 1-1, 2014.

Fonte: Adaptado de ABNT (2005).

As propriedades térmicas dos fechamentos de paredes e coberturas das edificações são expostas na Tabela 8.

Tabela 8 – Propriedades térmicas dos fechamentos

Fechamento		Transmitância térmica (W/m ² .K)	Capacidade térmica (kJ/m ² .K)
Pavilhão industrial	Parede cimentícia	5,118	176
	Parede telha galvanizada	6,676	7,67
	Cobertura galvanizada	7,275	7,67
Escritório	Cobertura: telha galv.+ EPS + forro de gesso	0,945	17,023
	Parede de tijolo	2,43	152

Fonte: Dados fornecidos pelo *EnergyPlus* 8.3 e baseados na NBR 15220-2 (2005).

Os vidros utilizados no escritório e as telhas translúcidas presentes na edificação industrial apresentam características conforme a Tabela 9.

Tabela 9 – Características óticas dos fechamentos transparentes.

Materiais utilizados		Características óticas		
Vidro	Espessura Total (mm)	Transmitância térmica (W/m ² .K)	Transmitância a luz visível (%)	Fator solar
Vidro refletivo	8	5,6	9,6	0,225
Vidro comum + película refletiva	4	1,0	6,3	0,38
Telha translúcida	6	4,6	40	0,8

Fonte: Material fornecido pela fabricante dos vidros Guardian Sunguard e do comerciante da película.

Os usos, ocupação e iluminação levantados serão apresentados no item de metodologia para as simulações computacionais.

3.2 METODOLOGIA UTILIZADA PARA AS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

Todas as análises por simulação computacional realizadas neste trabalho utilizam-se do mesmo *software* e arquivo climático, que atende as características estabelecidas pelo RTQ-C e expostas no item 2.5.2.1.

Para estas análises, foi utilizado o programa computacional *EnergyPlus* versão 8.3.0, com apoio do *software OpenStudio* e *Sketchup Make* 2015, para a interface gráfica, juntamente com o arquivo climático Swera da cidade de Santa Maria – RS.

Algumas análises foram realizadas considerando o dia típico de verão e inverno de percentual 2,5% da cidade de Santa Maria, referente ao trabalho de Flores (2014). O dia típico de verão 2,5%, corresponde a 20 de fevereiro, com temperatura externa máxima às 15h de 33,20°C, e o dia típico de inverno 2,5% é o dia 9 de julho, com temperatura externa mínima de 2,49°C às 5h.

O arquivo climático de Santa Maria contém dados horários desenvolvidos pelo *Solar and Wind Energy Resource Assessment*, obtidos em um projeto conjunto do INPE com o LABSOLAR da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), financiado pelo Programa Ambiental das Nações Unidas, o qual disponibilizou arquivos climáticos TMY para 20 cidades brasileiras e, é disponibilizado no site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da UFSC (UFSC, 2015).

A edificação foi modelada criteriosamente, baseada no levantamento das características construtivas dos edifícios e dos padrões de uso de uma indústria no

edifício do pavilhão industrial e de escritório, na parte que compete ao escritório da empresa. Foram configuradas as *schedules* de ocupação, iluminação e de equipamentos e inseridos os dados de ganhos internos da edificação referentes à iluminação, cargas geradas pelas máquinas e atividade metabólica dos ocupantes.

A edificação industrial foi configurada como uma única zona térmica e, a edificação do escritório apresentou 10 zonas térmicas, uma para cada um dos ambientes, com exceção dos banheiros feminino e masculino e lavatório, em que os 3 ambientes foram considerados como uma única zona térmica.

Também foi configurada uma *schedule* para a ventilação natural do pavilhão industrial e para a climatização da área de escritório, assim como dados referentes às aberturas das esquadrias.

As configurações adotadas são apresentadas nos itens 3.2.1 a 3.2.4.

3.2.1 Ocupação

Para o padrão de ocupação dos ambientes analisados, considerou-se a situação real de uso das edificações, atribuindo uma *Schedule* a este padrão, que apresenta 100% de ocupação nos horários das 7h30min às 12h e das 13h às 18h18min, e 10% de ocupação nos horários entre 12h e 13h, de segunda à sexta-feira, conforme é a situação real de ocupação das edificações estudo de caso.

3.2.2 Iluminação

O padrão de iluminação comporta-se igualmente ao padrão de ocupação.

A iluminação dos ambientes no escritório é feita por lâmpadas fluorescentes tubulares T5, com quatro lâmpadas por luminária (4 x 14W), na maioria dos ambientes do escritório, e algumas fluorescentes espiral de 23W. Para a iluminação cênica são utilizadas lâmpadas dicróicas de 50W.

No pavilhão industrial são utilizadas lâmpadas de multivapores metálicos de alta pressão de 250 W.

Foi considerada na simulação a carga de iluminação em cada ambiente, além da fração radiante e visível das luminárias utilizadas, conforme a Tabela 10.

Tabela 10 – Características do sistema de iluminação

Ambiente	Potência. Ilum. (W)	Fração radiante	Fração visível
RECEPÇÃO	828	0,72	0,18
RECEPÇÃO	56	0,42	0,18
LAVABO	104	0,72	0,18
REUNIÕES	334	0,72	0,18
REUNIÕES	56	0,42	0,18
DIRETORIA	262	0,72	0,18
ENGENHARIA	1.440	0,72	0,18
CPD	46	0,72	0,18
BANHEIROS	437	0,72	0,18
RH/ENTREVISTA	92	0,72	0,18
CONTABILIDADE	112	0,72	0,18
CIRCULAÇÃO	284	0,72	0,18
ARQUIVO	46	0,72	0,18
PAVILHÃO	36.400	0,42	0,18

Fonte: Autora.

3.2.3 Equipamentos

O padrão utilizado para a configuração dos equipamentos é uma *Schedule* de funcionamento igual ao período de ocupação da edificação. Os equipamentos do escritório consistem em computadores, impressoras e demais equipamentos voltados a esta função de trabalho. No pavilhão industrial encontram-se máquinas do tipo dobradeiras, empilhadeiras, de corte a laser, fornos, perfuradoras, robôs de solda etc.

Para a simulação também foram consideradas as cargas dos equipamentos, suas frações radiantes, latentes e frações de perda, conforme a Tabela 11.

Tabela 11 – Características dos equipamentos

Ambiente	Potência	Fração latente	Fração radiante
RECEPÇÃO	5,4 W/m ²	0	0,25
REUNIÕES	5,4 W/m ²	0	0,25
DIRETORIA	5,4 W/m ²	0	0,25
ENGENHARIA	42 W/m ²	0	0,25
CPD	21,5 W/m ²	0	0,25
RH/ENTREVISTA	21,5 W/m ²	0	0,25
CONTABILIDADE	10,7 W/m ²	0	0,25

Ambiente	Potência	Fração latente	Fração radiante
PAVILHÃO	120.000 W	0	0,5

Fonte: Autora.

3.2.4 Sistema de condicionamento de ar

A edificação que comporta o escritório apresenta seus ambientes climatizados artificialmente por condicionadores de ar do tipo Split, de diversos modelos e eficiência, que foram configurados para um *Setpoint* de 22 °C no verão e inverno, conforme a situação real da edificação, com operação conforme a ocupação do edifício. Para este estudo, foi levantada a potência de cada uma das máquinas e o seu coeficiente de performance (COP).

Tabela 12 – Características dos aparelhos do tipo *Split*

Ambiente	Potência (BTU/h)	COP
RECEPÇÃO	12.000	3,2
REUNIÕES	9.000	2,95
DIRETORIA	9.000	2,90
ENGENHARIA	30.000 / 18.000	2,61 / 2,77
CPD	7.000	2,91
RH/ENTREVISTA	7.500	2,28
CONTABILIDADE	12.000	2,46

Fonte: Autora.

O pavilhão industrial é ventilado naturalmente e suas aberturas entre as vedações (placas cimentícias e telhas metálicas) encontram-se 100% do tempo ventilando. As portas da edificação encontram-se abertas em 100% do tempo no período de uso da edificação. A ventilação foi configurada como constante através dos objetos de ventilação do tipo calculada do *AirflowNetwork*.

3.3 CONFORTO TÉRMICO DO PAVILHÃO INDUSTRIAL: MÉTODO ADAPTATIVO

A análise de conforto térmico pelo método adaptativo que foi realizada no pavilhão industrial seguiu o exposto na ASHRAE 55 – *Environmental Conditions for*

Human Occupancy (2010), que utiliza os conceitos de temperatura neutra operativa e modelos adaptativos para ambientes ventilados naturalmente.

Para esta análise, são necessários dados de entrada ao índice proposto, baseados na média mensal das temperaturas externas e na temperatura operativa (média aritmética entre a temperatura interna do ar e a temperatura radiante), definindo uma temperatura de conforto (temperatura neutra operativa). A norma apresenta zonas de conforto, onde 90% ou 80% dos usuários estariam satisfeitos durante as horas de ocupação da edificação.

As temperaturas utilizadas no cálculo foram obtidas por meio da simulação computacional, desde a temperatura externa, que é a própria temperatura do arquivo climático.

A análise foi realizada em planilha de cálculo que estabelece o percentual de usuários em conforto e desconforto térmico, baseados no percentual de aceitabilidade de 80% de satisfação das horas ocupadas do método adaptativo para as situações de análise do pavilhão industrial, configuradas conforme exposto no item 3.2.

3.4 AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES ESTUDADAS – FLUXOS TÉRMICOS

Para a avaliação do comportamento térmico das edificações avaliadas foi feita uma análise de fluxos térmicos por meio do método de simulação computacional, que é descrito no item 3.2.

Esta avaliação consiste na verificação de como e onde ocorrem as maiores e as menores trocas térmicas nas edificações, identificando perdas e/ ou ganhos de calor por todos os elementos da envoltória, cargas e ventilação, por meio dos fluxos de calor exportados das simulações termoenergéticas.

É a partir da análise dos fluxos térmicos que podem ser identificados os locais que merecem mais atenção na edificação, recebendo medidas corretivas para diminuir alguns ganhos ou perdas indesejados, ou seja, ela torna viável a identificação das soluções que serão propostas às edificações.

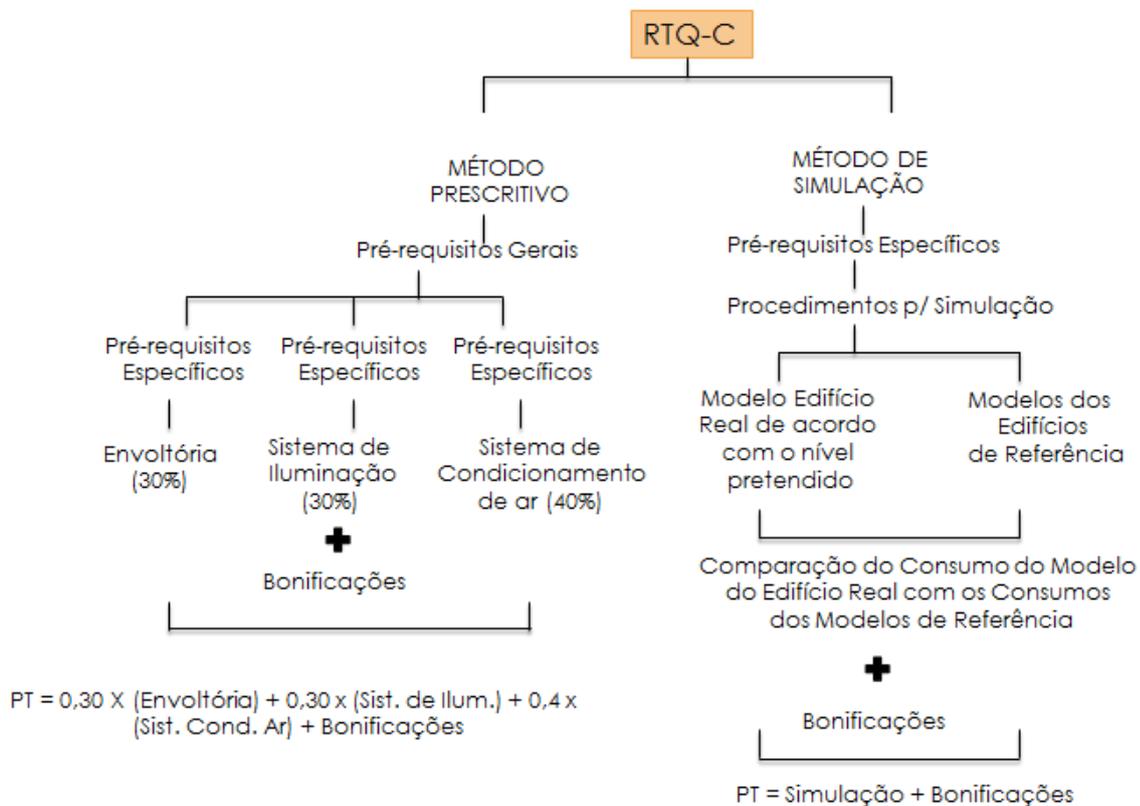
Identificadas as soluções, estas foram também simuladas, com o mesmo *software*, mesmas condições de uso e ocupação e arquivo climático, para a verificação das soluções mais adequadas.

Por fim, foram somadas as análises das condições de conforto térmico dos usuários do pavilhão industrial e da eficiência energética do escritório, para determinar as estratégias bioclimáticas viáveis à implantação e qual o seu potencial de melhoria esperado para redução dos gastos com energia elétrica e dar melhores condições de habitabilidade.

3.5 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS: METODOLOGIA DO RTQ-C

A análise da eficiência energética do escritório pela metodologia do RTQ-C foi efetuada através dos dois métodos, prescritivo e de simulação computacional, para uma análise mais completa e comparativa entre os métodos, em que cada um deles seguindo o exposto nas Figuras 19.

Figura 19 – Esquema resumo da metodologia utilizada pelo RTQ-C.



Fonte: Autora.

3.5.1 Método Prescritivo

O método prescritivo abordou o que já foi mencionado no item 2.5.1 e, avaliou separadamente a eficiência da envoltória, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar, após avaliação dos pré-requisitos gerais e de cada um dos sistemas e, ao final da avaliação, acrescentadas as bonificações.

3.5.1.1 Avaliação da Envoltória

No processo de avaliação da eficiência da envoltória foi necessário o seu levantamento quantitativo e a caracterização dos seus elementos constituintes para que pudessem ser confrontados aos pré-requisitos mínimos específicos da envoltória para a ZB 2, presente na Tabela 2.

Após a verificação dos pré-requisitos, procedeu-se a determinação do indicador de consumo da envoltória, o IC_{env} , escolhendo entre umas das equações a ser aplicada ao estudo de caso, e calculando a área de projeção do edifício (A_{pe}), a área total construída (A_{tot}), a área da envoltória (A_{env}), a área de projeção da cobertura ($A_{p_{cob}}$), o ângulo vertical de sombreamento (AVS), o ângulo horizontal de sombreamento (AHS), o fator forma (FF), o fator altura (FA), fator solar (FS), o percentual de abertura na fachada total (PAFT) e o volume total da edificação (V_{tot}).

Foi calculado o $IC_{máx}$ e o $IC_{mín.}$, conforme descrito no subitem 2.5.1.1, para obter o índice que determina o intervalo de mudança de nível .

3.5.1.2 Avaliação do Sistema de Iluminação

Para avaliação do sistema de iluminação, além dos limites de potência instalada, devem ser respeitados os critérios de controle do sistema de iluminação, de acordo com o nível de eficiência pretendido, conforme os pré-requisitos, descritos no subitem 2.5.1.2.

A avaliação do sistema de iluminação para o estudo de caso considerou o método da área do edifício.

3.5.1.3 Avaliação do Sistema de Condicionamento de ar

A avaliação do sistema de condicionamento de ar é descrita no subitem 2.5.1.3, iniciando pela verificação dos pré-requisitos de isolamento térmico para dutos de ar e tubulações de água gelada e condicionamento de ar por aquecimento artificial. Em seguida, pela identificação dos equipamentos ou sistemas classificados ou não pelo PBE/INMETRO, adotando a sua ENCE, conforme a última versão das tabelas do INMETRO.

3.5.2 Método de Simulação Computacional

O método de simulação apresenta pré-requisitos específicos quanto ao programa de simulação e o arquivo climático utilizado, que para este estudo, atendendo aos requisitos descritos no subitem 2.5.1, utilizou o *software EnergyPlus*, com arquivo climático TMY para a cidade de Santa Maria, melhor expostos no item 3.2.

Os modelos tiveram as mesmas características de uso e ocupação, DPI e *schedules* utilizadas na metodologia de simulação, que é base para outras análises, estando descrita no item 3.2.

A metodologia para a aplicação do método de simulação computacional compara o consumo do projeto proposto (real) com o consumo do projeto de referência, devendo ser demonstrado que o consumo de energia do projeto proposto deve ser igual ou menor do que o consumo do edifício de referência, conforme descrito no subitem 2.5.2.

Após as simulações dos edifícios modelos, foi feita a interpolação entre os consumos calculados no modelo de referência e calculada a pontuação total pela Equação 6 do subitem 2.5.2.4.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS PARA O PAVILHÃO INDUSTRIAL

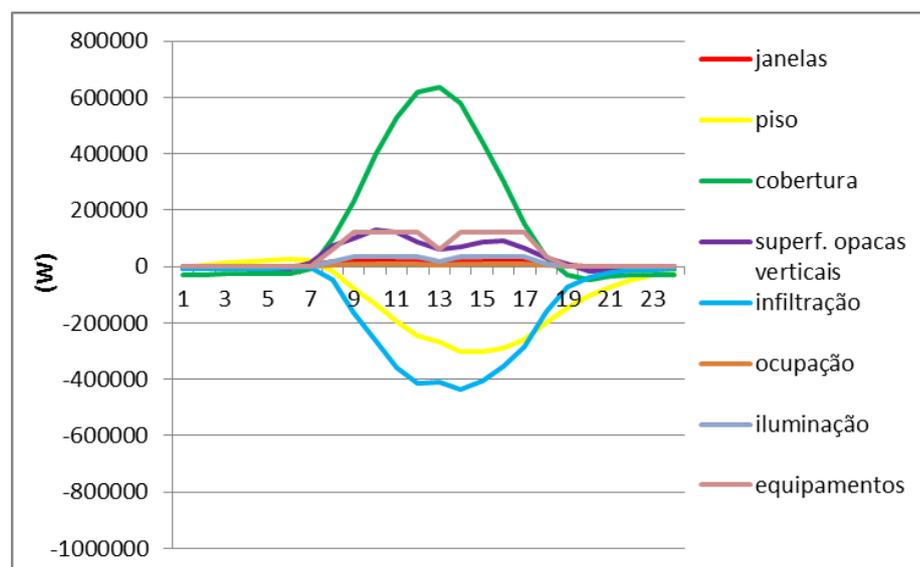
Neste capítulo, são apresentadas as análises dos fluxos térmicos e das condições de conforto térmico do pavilhão industrial. A partir desses resultados, serão apresentadas as estratégias bioclimáticas de possível implantação na edificação e os seus potenciais de melhoria no comportamento térmico do pavilhão.

4.1 FLUXOS TÉRMICOS E PROPOSTAS DE SOLUÇÕES - PAVILHÃO INDUSTRIAL

A análise de fluxos térmicos embasou a avaliação do comportamento térmico da edificação industrial. Ela apresenta as perdas e os ganhos de calor na edificação através dos seus fechamentos, com análises para os dias típicos de verão e inverno de índice 2,5% para a cidade de Santa Maria/RS.

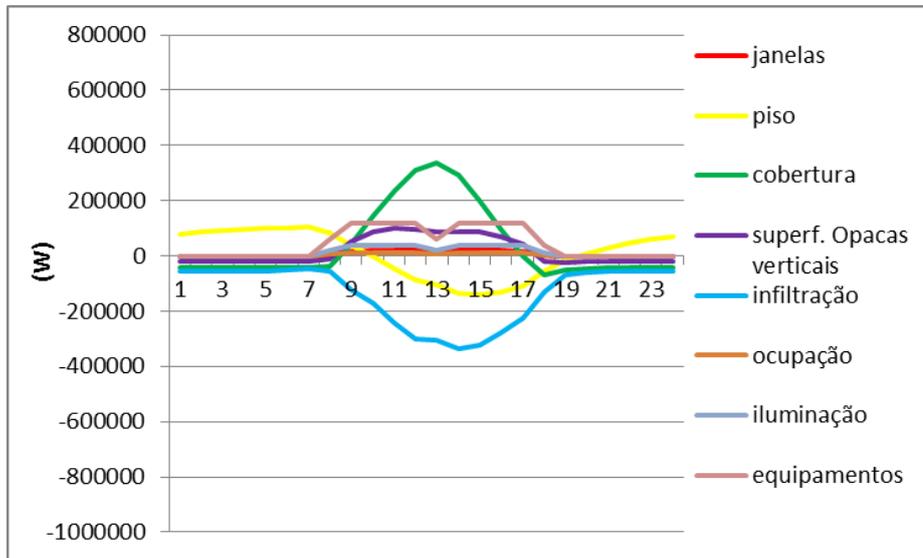
No pavilhão industrial, a análise de fluxos térmicos foi realizada para uma situação inicial, de acordo com a configuração real da edificação, conforme as Figuras 20 e 21.

Figura 20 – Fluxos térmicos para a situação real no dia típico de verão.



Fonte: Autora.

Figura 21 – Fluxos térmicos para a situação real no dia típico de inverno.



Fonte: Autora.

Em ambas as situações, de verão e inverno, constatou-se que a cobertura representa os maiores ganhos térmicos e as maiores perdas de calor ocorrem por infiltração de ar, o que significa que no verão os altos ganhos pela cobertura são o problema de desconforto e no inverno as grandes perdas por infiltração.

Nos horários em que não há influência da radiação solar, as perdas e os ganhos são menores, à exceção do piso que continua trocando bastante calor com o solo.

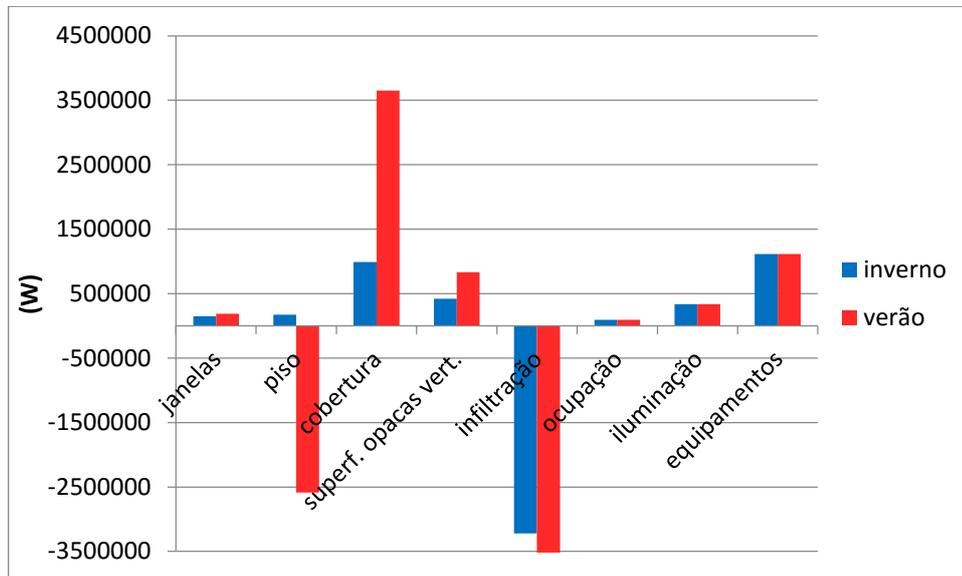
Realizado o somatório das perdas e dos ganhos no dia típico de verão, observa-se (Figura 22) que a edificação tem os maiores ganhos pela cobertura, seguida dos equipamentos, superfícies opacas verticais e iluminação. As perdas são relativas à infiltração e ao piso.

No somatório de fluxos para o dia típico de inverno, os maiores ganhos são oriundos da cobertura e gerados por equipamentos, seguidos pelas superfícies opacas, iluminação e pelo piso, e perdas de calor por infiltração.

As perdas por infiltração são muito expressivas em ambas as situações devido às esquadrias estarem constantemente abertas.

No verão, os ganhos de calor são maiores que no inverno, e o calor que entra tem grande parcela de perda para o solo, o qual possui temperatura mais baixa do que a edificação. No inverno, ao contrário do verão, o solo acaba cedendo calor à edificação.

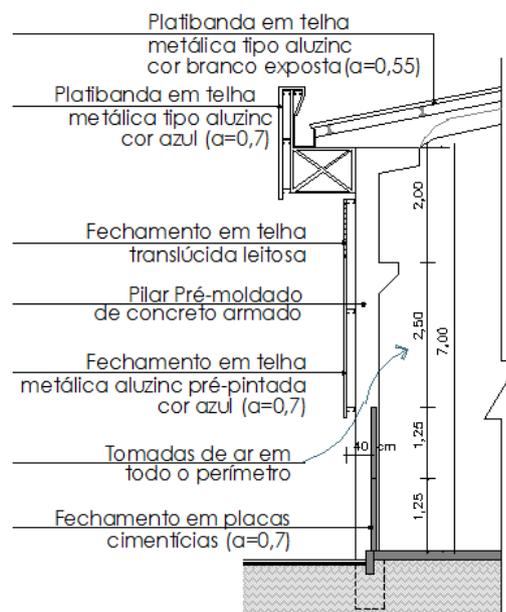
Figura 22 – Somatório de fluxos térmicos para a Situação real nos dias típicos de verão e inverno.



Fonte: Autora.

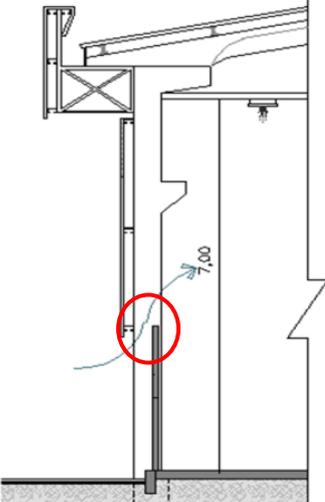
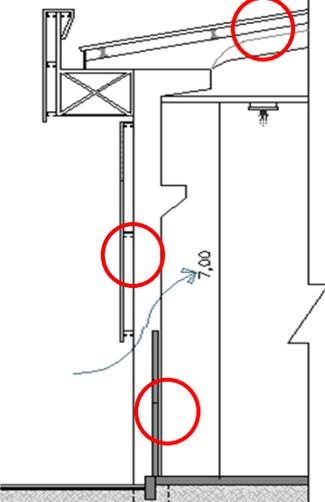
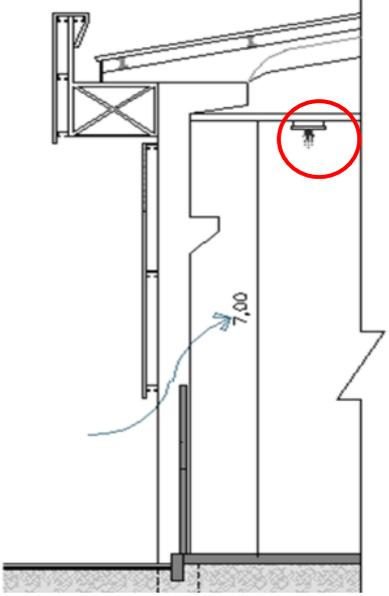
A partir das análises para a situação real da edificação (Situação 1), identificada na Figura 23, podemos analisar possíveis alterações na edificação que reduzam os fluxos de entrada ou saída de calor e melhorem o conforto térmico dos ocupantes, por meio das seguintes situações expostas no Quadro 1.

Figura 23 – Situação base 1



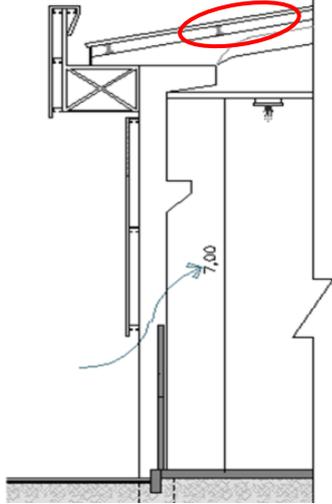
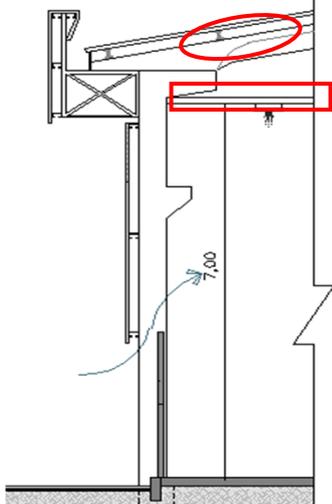
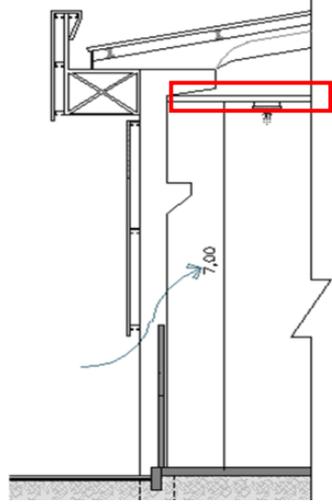
Fonte: Adaptado do projeto fornecido pela empresa proprietária.

Quadro 1– Identificação das situações de análises propostas

<ul style="list-style-type: none">Situação 2: Alteração na configuração da ventilação natural, em que há o fechamento total das aberturas, ou seja, o prédio está estanque;	
<ul style="list-style-type: none">Situação 3: Substituição da absorvância solar dos fechamentos opacos (paredes e cobertura) para uma absorvância de 0,2;	
<ul style="list-style-type: none">Situação 4: Substituição total das 112 lâmpadas utilizadas para a iluminação artificial da edificação (multivapores metálicos de 250W com reator de 75W) por refletor de LED de 120W, configurando uma iluminação equivalente ao conjunto anterior;	

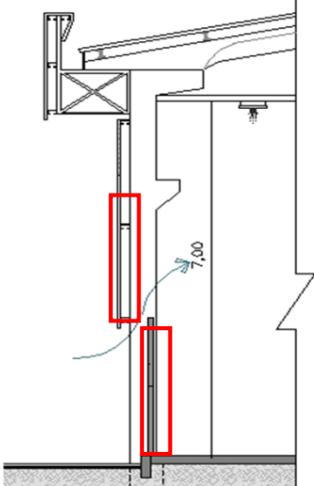
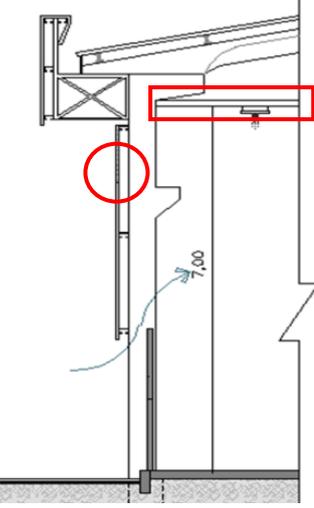
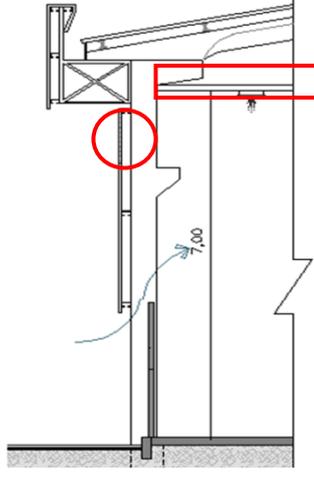
Quadro 2– Identificação das situações de análises propostas

(continuação)

<ul style="list-style-type: none"> Situação 5: Acréscimo de EPS (2,5 cm) junto à telha de cobertura na porção interna do edifício; 	
<ul style="list-style-type: none"> Situação 6: Considerou-se a Situação 5 mais o acréscimo de um forro de PVC (10 mm), configurando-se uma câmara de ar na cobertura maior que 5cm (resistência térmica de $0,21\text{m}^2.\text{K/W}$). Foi utilizado o PVC devido ao baixo custo e facilidade de execução; 	
<ul style="list-style-type: none"> Situação 7: Acréscimo do forro de PVC de 10mm, formando a câmara de ar na cobertura (resistência térmica de $0,21\text{m}^2.\text{K/W}$); 	

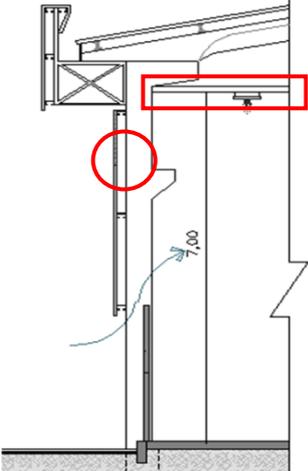
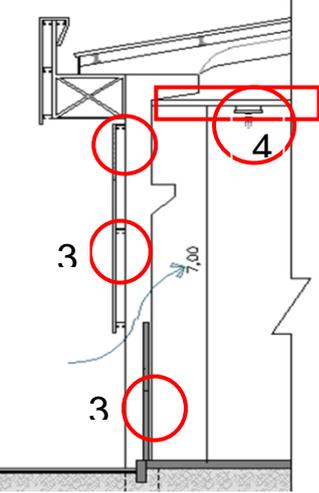
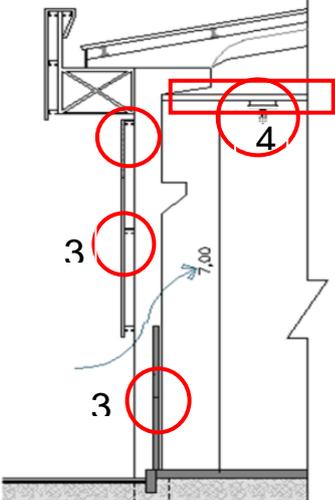
Quadro 3– Identificação das situações de análises propostas

(continuação)

<ul style="list-style-type: none"> Situação 8: Substituição dos fechamentos opacos existentes por uma parede que atinge o desempenho térmico mínimo estipulado pelas normas de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013) e pela NBR 15220 (ABNT, 2005) para a ZB 2. Configurando uma parede de tijolos cerâmicos, de bloco 14X19X29, com argamassa de 2,5cm em ambas as faces, a qual apresenta transmitância térmica de $1,85 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ e capacidade térmica de $161 \text{ kJ/ m}^2\cdot\text{K}$; 	
<ul style="list-style-type: none"> Situação 9: Acrescentou-se o forro de PVC, igualmente à Situação 7, com a adição de aberturas para ventilação no local onde se encontra o fechamento por telhas translúcidas nas fachadas. Foram consideradas 3 novas aberturas em cada fachada, nas fachadas leste e oeste, de dimensões $5,0 \times 1,0 / 5,6 \text{ m}$, com funcionamento controlado por temperatura, abrindo em 26°C (temperatura interna); 	
<ul style="list-style-type: none"> Situação 10: Esta se diferencia da Situação 9 pela área de abertura de ventilação, em que todo fechamento translúcido das fachadas leste e oeste do pavilhão é substituído por aberturas, controladas por temperatura, para abrir aos 26°C (temperatura interna), em uma área de abertura de $59,5 \text{ m}^2$ em cada fachada (leste e oeste); 	

Quadro 4– Identificação das situações de análises propostas

(conclusão)

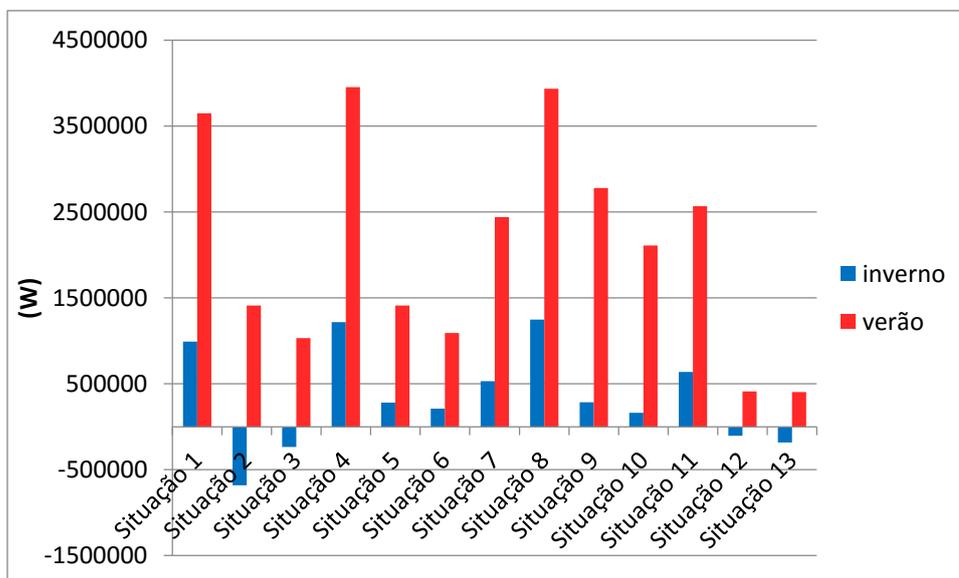
<ul style="list-style-type: none"> Situação 11: Configuração semelhante à da Situação 10, com substituição do controle das aberturas por temperatura para uma configuração de ventilação constante durante as 24 horas do dia; 	
<ul style="list-style-type: none"> Situação 12: Esta configuração, também baseada na Situação 1, é a união das situações 3, 4 e 11, ou seja, é a situação base com alteração da absorvância solar dos fechamentos opacos para 0,2, aliada à substituição das lâmpadas existentes por lâmpadas de equivalente fluxo luminoso em LED e utilizando-se da ventilação constante por novas aberturas que substituíram os fechamentos translúcidos na fachada leste e oeste; 	
<ul style="list-style-type: none"> Situação 13: A situação 13 diferencia-se da Situação 12 pelo controle da ventilação natural, que é efetuado por temperatura, com abertura de suas esquadrias quando o ambiente interno atinge os 26 °C. 	

Fonte: Autora.

Os ganhos por iluminação, equipamentos e ocupação são sempre os mesmos para qualquer hipótese em que se trabalhe com a envoltória, exceto para as Situações 4, 12 e 13, em que foi configurada uma nova carga de iluminação, por substituição dos conjuntos originais por solução de equivalente fluxo luminoso e menor geração de calor. Também, devido ao fato dos ganhos e perdas serem mais evidentes na cobertura, superfícies opacas verticais, janelas e infiltração, estas se tornaram o foco das análises.

Nesse sentido, a Figura 24 apresenta as perdas e os ganhos na cobertura para as diversas situações analisadas.

Figura 24 – Fluxos térmicos na cobertura para os dias típicos de verão e inverno.



Fonte: Autora.

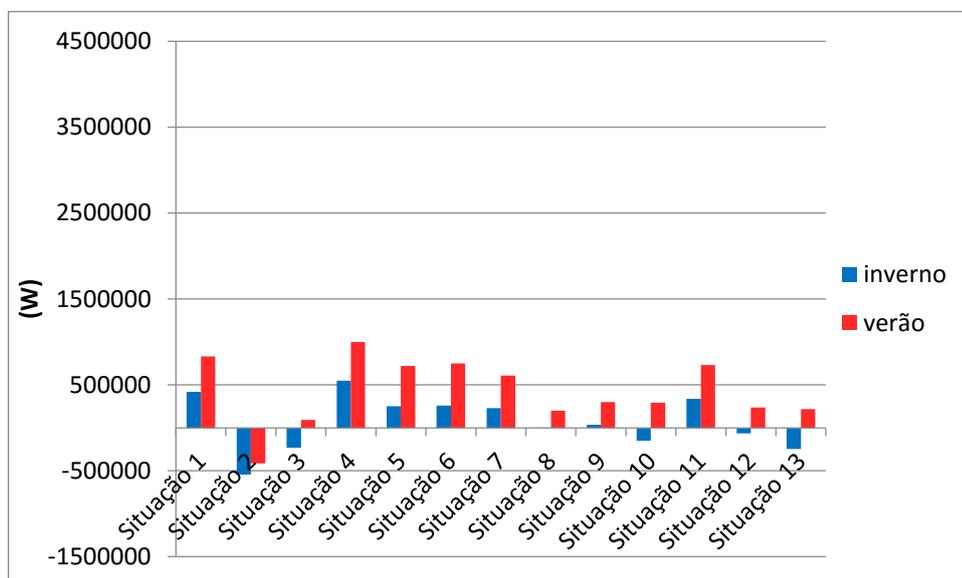
Observa-se que a cobertura, no verão, apresenta altos ganhos térmicos, e no inverno, em três das configurações apresenta perdas. Nas situações em que ocorrem perdas (3, 12 e 13), há em comum a baixa absorção solar dos fechamentos, a qual reduz a absorção de calor pela cobertura. Na situação 2, devido à conformação de estanqueidade, todo o calor que é gerado dentro da edificação, ou que nela penetra, na falta de infiltração, acaba sendo perdido pelos seus componentes opacos.

Os ganhos de calor mais expressivos ocorrem nas Situações 1, 4 e 8, tanto no dia típico de verão como de inverno, por consequência da não utilização de

isolamento na cobertura, da alta absorção solar e da insuficiência de ventilação. Na Situação 8, especificamente, onde há a substituição dos materiais utilizados como fechamentos externos de paredes, por materiais de melhor desempenho térmico, estas paredes acabam recebendo menor fluxo de calor, e conseqüentemente a cobertura da edificação recebe maior fluxo.

Assim como na cobertura, foram analisados os fluxos térmicos nas superfícies opacas verticais destas composições, conforme a Figura 25.

Figura 25 – Fluxos térmicos nas superfícies opacas verticais para os dias típicos de verão e de inverno.



Fonte: Autora.

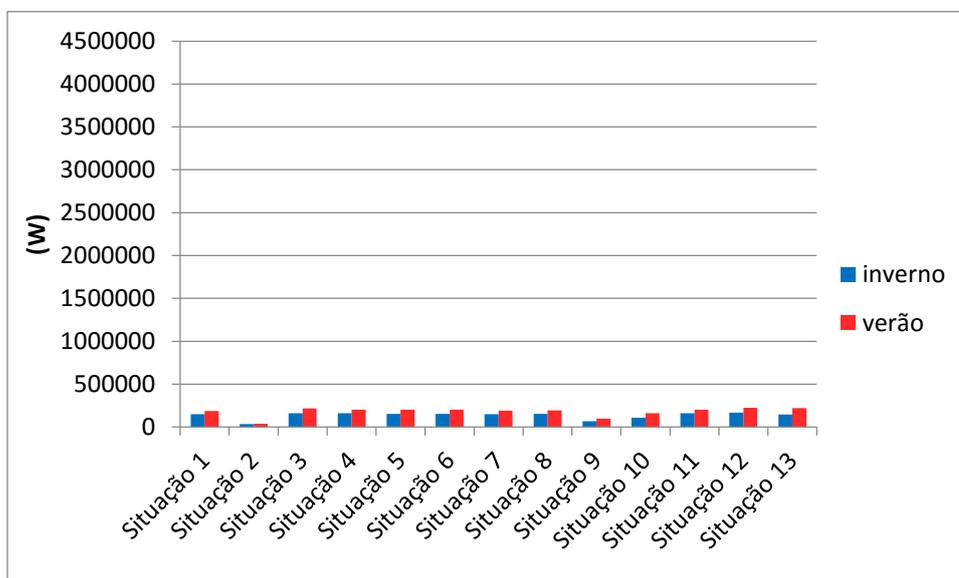
Observando o gráfico com os ganhos e as perdas de calor que ocorrem nas superfícies opacas verticais, verifica-se que no verão as composições de menores ganhos são a 3, 12 e 13, em virtude das baixas absorções utilizadas nas paredes ($\alpha=0,2$), e na Situação 8, devido à configuração de uma parede de melhor desempenho térmico para a ZB 2.

Assim como foi evidenciado na análise dos fluxos térmicos das coberturas, para o verão e inverno a Situação 2 apresentou perdas de calor por seus fechamentos opacos verticais, por razão da estanqueidade da edificação somente permitir que o calor interno seja perdido por estes fechamentos.

No inverno, também é evidente a diferença de configuração de uma parede de melhor desempenho térmico, pois é praticamente nula a entrada ou saída de calor através dela. Já as coberturas que se utilizam de algum isolamento, como as das Situações 5, 6 e 7, deixam de ganhar calor, o qual acaba entrando pelas superfícies opacas verticais.

Em relação às paredes e à cobertura, o ganho de calor através das janelas é pouco expressivo pela pequena área de abertura, conforme se observa na Figura 26.

Figura 26 – Fluxos térmicos nas janelas para os dias típicos de verão e inverno.

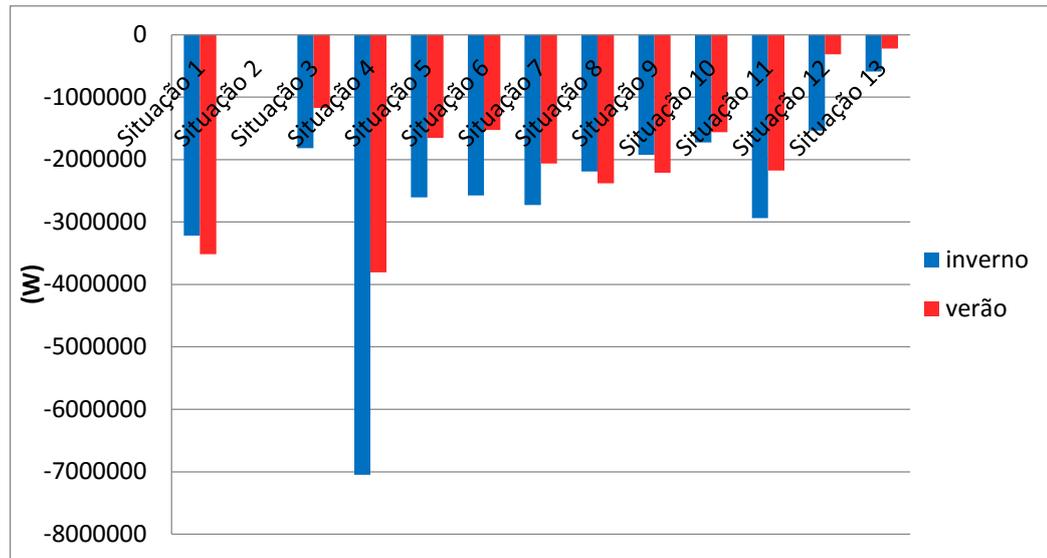


Fonte: Autora.

Em ambas as situações, de inverno e verão, apenas ocorrem ganhos de calor através das janelas, os quais são praticamente de mesma carga em todas as situações, à exceção da Situação 2, devido à estanqueidade, que dificulta a entrada de calor pelo material translúcido, ao contrário das outras situações em que é facilitada pela abertura das esquadrias.

Outra análise importante é a dos fluxos de calor que ocorrem na edificação através da infiltração de ar, que neste contexto, de alta geração interna de calor, colabora para o balanço térmico retirando boa parte do calor que entra na edificação, como é verificado na Figura 27.

Figura 27 – Fluxos térmicos das infiltrações para os dias típicos de verão e inverno.



Fonte: Autora.

A infiltração ocasiona perdas de calor na edificação, muitas vezes de maneira muito expressiva, como no caso da Situação 4, sendo favorável apenas no verão. Esta configuração tem perdas mais elevadas que a Situação 1, pois seus ganhos também são maiores.

A Situação 2 não apresenta perdas devido à estanqueidade configurada para análise.

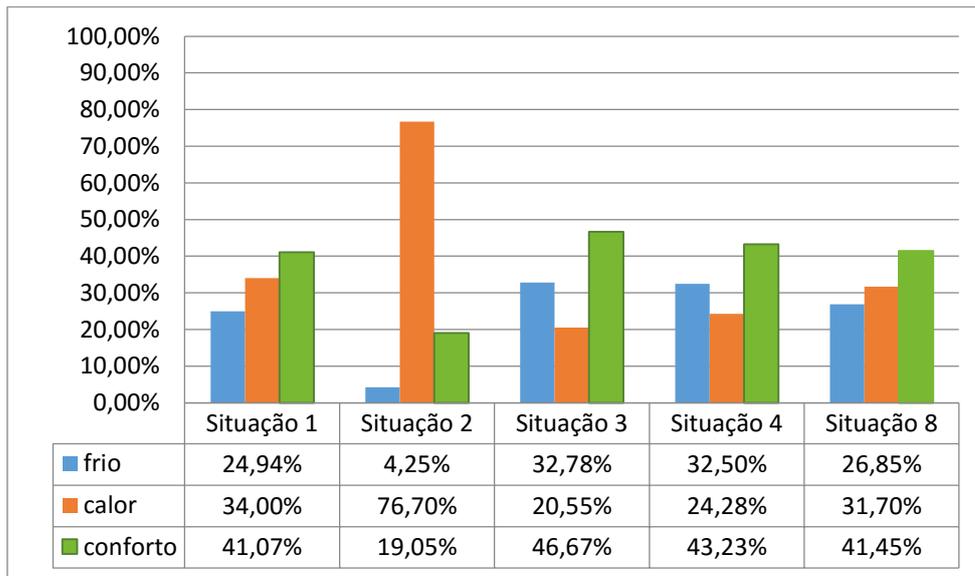
4.2 CONFORTO TÉRMICO

A avaliação do conforto térmico para a edificação que comporta o pavilhão industrial realizou-se por meio do método adaptativo, considerando inicialmente o pavilhão na situação real (Situação 1), em que as esquadrias estão abertas em 100% do tempo e opera com todas as cargas internas (ocupação, equipamentos, iluminação), estabelecendo limites de aceitabilidade de conforto térmico.

A análise da Situação 1 foi confrontada inicialmente às análises do conforto adaptativo das situações que propõem alterações na envoltória (Situações 1, 2, 3, 4 e 8), às situações com proposições para a cobertura (Situações 1, 5, 6 e 7), às que lançam proposições relacionadas à cobertura e ao uso da ventilação de exaustão (Situações 1, 9, 10 e 11) e, por último, às situações que propõem a soma de algumas proposições avaliadas (Situações 12 e 13).

Os percentuais de conforto e desconforto térmico das horas avaliadas para as situações que propõem alterações na envoltória verificadas em relação à Situação inicial 1 estão expostos no gráfico da Figura 28.

Figura 28 – Análise do conforto adaptativo para as situações que propõem alterações na envoltória.



Fonte: Autora.

Na Situação 1, o percentual de horas ocupadas em conforto térmico é inferior a 50%, com percentual de desconforto por calor um pouco mais elevado que o de desconforto por frio, somados ultrapassando 58% das horas ocupadas.

Na Situação 2, considerou-se o fechamento total das aberturas para a ventilação, ou seja, o prédio está estanque, porém com todas as cargas internas, apresentando alto desconforto térmico das horas ocupadas. O desconforto por calor é evidente, 76,70% das horas ocupadas, e uma pequena parcela está em desconforto por frio, 4,25%, ou seja, as pessoas estão em situação de conforto térmico em apenas 19,05% do tempo que ocupam esta edificação, situação esperada, porém estabelecida para a avaliação da ventilação na edificação.

Para a Situação 3, foi considerada a Situação base 1, com uso de uma absorvância solar (α) mais baixa nas paredes e cobertura ($\alpha=0,2$). Nesta, o desconforto das horas ocupadas, por calor, em relação à Situação 1, é reduzido em

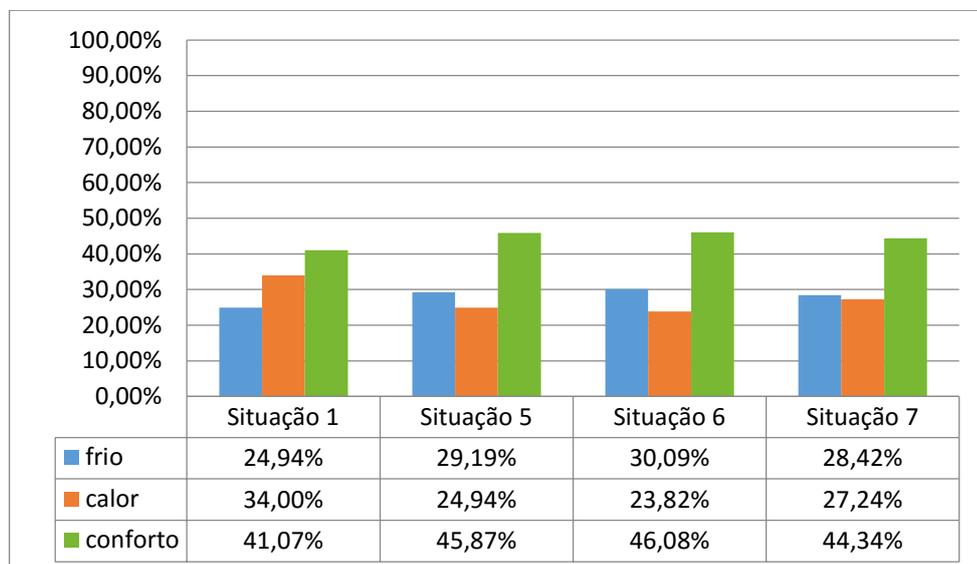
9,72%, ao passo que o desconforto por frio aumenta em 7,84%, resultando em um aumento das horas em conforto térmico de 5,6%.

A Situação 4 é composta pela Situação 1, porém teve suas lâmpadas originalmente utilizadas para a iluminação artificial substituídas por lâmpadas de LED de fluxo luminoso equivalente e menor consumo de energia. Esta Situação não é mais favorável que a anterior (3), porém, em relação à original 1, apresenta uma redução das horas em desconforto por calor em 9,72%, devido à geração de calor das lâmpadas de LED ser bastante inferior às utilizadas originalmente no estudo de caso.

Na Situação 8, é verificado o percentual de horas em conforto térmico com a substituição dos fechamentos opacos existentes no pavilhão por uma parede que atinge o desempenho térmico mínimo estipulado pelas normas de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013) e pela NBR 15220 (ABNT, 2005) para a ZB 2. Nesta configuração, considerou-se uma parede de tijolos cerâmicos, de bloco 14X19X29, com argamassa de 2,5cm em ambas as faces, apresentando transmitância térmica de 1,85 W/m².K e capacidade térmica de 161 kJ/ m².K.

As situações que propõem alterações na cobertura da Situação inicial 1 apresentam percentuais de conforto e desconforto térmico das horas ocupadas segundo o gráfico da Figura 29.

Figura 29 – Análise do conforto adaptativo para as situações que propõem alterações na cobertura.



Fonte: Autora.

Observa-se que a configuração da Situação 5 diferencia-se da Situação 1 pelo acréscimo de EPS junto à telha de cobertura na porção interna do edifício. Observa-se, neste caso, o aumento do percentual de horas ocupadas em conforto térmico em relação às demais situações, à exceção da Situação 3. Porém, essa melhora ocorre com redução do desconforto por frio em relação às situações 3 e 4 e por redução ao desconforto por calor em relação à Situação original 1.

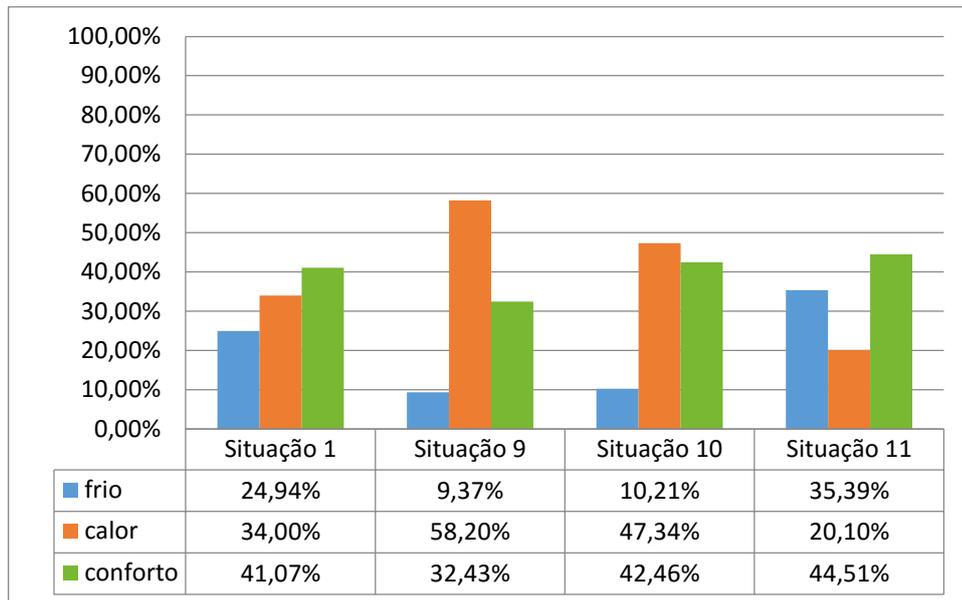
Na configuração da Situação 6 considerou-se a Situação 5 mais o acréscimo de um forro de PVC, configurando-se uma câmara de ar na cobertura. Esta configuração é ainda melhor que a anterior (5), que utilizava somente o isolamento de EPS na telha de cobertura. Com a configuração da câmara de ar na cobertura junto à telha com EPS, houve o resultado do aumento das horas em conforto térmico devido à redução do desconforto por calor, porém com um aumento quase que imperceptível das horas em desconforto por frio.

Na Situação 7, retirou-se o EPS da cobertura da anterior, Situação 6, mantendo-se o forro de PVC. Verifica-se que é uma situação desfavorável em relação às anteriores com EPS nas telhas de cobertura, aumentando o desconforto por calor, porém reduzindo o desconforto por frio, o que em geral apresenta menor percentual de horas em conforto térmico.

As configurações das Situações 9, 10 e 11 focaram nas alterações na cobertura acrescidas do aumento de aberturas na fachada para ventilação de saída, por caracterizar-se como a solução de maior impacto no conforto térmico, como verificado pelo impacto das aberturas para ventilação em relação ao prédio estanque e também devido a resultados de outros trabalhos analisados na bibliografia. Os percentuais de conforto e desconforto térmico das horas avaliadas, para estas configurações, estão expostos na Figura 30.

Para a Situação 9, partindo da Situação base 1, acrescentou-se o forro de PVC, igualmente à situação 5, com a adição de algumas aberturas para ventilação onde se encontram as telhas translúcidas nas paredes da edificação. Foram consideradas 3 novas aberturas em cada fachada, leste e oeste, de dimensões 5,0x1,0/5,6m, com funcionamento controlado por temperatura, para abrir em 26°C (temperatura interna).

Figura 30 – Análise do conforto adaptativo para as situações que propõem alterações na cobertura com acréscimo da ventilação.



Fonte: Autora.

A configuração da Situação 10 diferencia-se da Situação 9 pelo tamanho das aberturas, em que toda área de fechamento transparente nas paredes do pavilhão é substituída por aberturas, controladas por temperatura, abrindo aos 26°C (temperatura interna), formando uma área de abertura de 59,5m² em cada fachada.

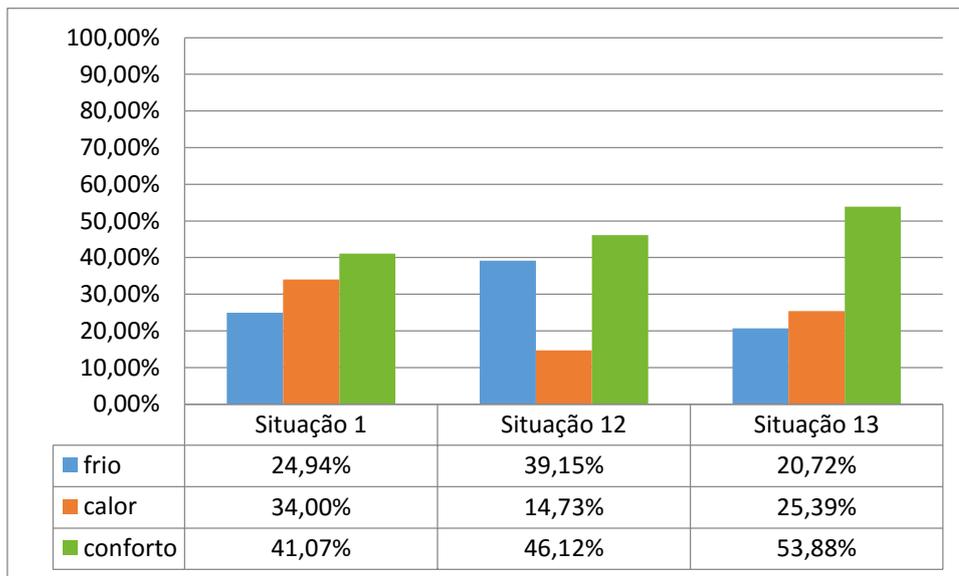
Observa-se que na Situação 10 o desconforto por calor é reduzido em 10,86%, e o desconforto por frio se eleva em menos de 1%, ou seja, é uma situação mais favorável que a anterior e menos interessante que a Situação 1, pois o desconforto por calor aqui é maior, embora o percentual de horas em conforto aqui seja um pouco maior.

Para a configuração da Situação 11 substituiu-se o controle das aberturas da situação 10, que era por temperatura, optando-se por abri-las em 100% do tempo. Nesta, verifica-se o pequeno aumento do percentual de horas em conforto térmico em relação às situações nas anteriores em que se analisa a ventilação (Situação 9 e 10) e na situação base 1, com redução expressiva do desconforto por calor, porém aumentando o desconforto por frio.

As Situações 12 e 13 reuniram algumas configurações de situações anteriormente testadas para obter resultados mais efetivos na melhoria do conforto

térmico. Os percentuais de conforto e desconforto para as horas ocupadas nestas situações são verificado na Figura 31.

Figura 31 – Análise do conforto adaptativo para as situações que propõem a soma de proposições avaliadas.



Fonte: Autora.

Na situação 12, partindo da Situação base 1, foi substituída a absorvância solar dos fechamentos opacos para uma de $\alpha=0,2$ (Situação 3), substituídas as lâmpadas existentes pelas equivalentes em LED (Situação 4) e configurada uma ventilação constante no local dos fechamentos translúcidos, igual à da Situação 11.

Observa-se, na Situação 12, o menor percentual de horas em desconforto por calor entre todas as situações, devido à soma de soluções para amenizar a temperatura, ao mesmo tempo em que gera alto percentual de desconforto por frio.

A Situação 13 é igualmente configurada conforme a Situação 12, diferenciando-se pela configuração da ventilação natural, que é controlada por temperatura, com abertura das esquadrias quando a temperatura do ambiente atinge os 26°C.

Pode-se inferir que a Situação 13 é a composição de maior percentual de horas em conforto térmico, dentro do limite de 80% de aceitabilidade, demonstrando certo equilíbrio no percentual de horas em desconforto térmico por frio e por calor,

tornando-se assim a situação de configuração mais interessante para ser aplicada à ZB 2.

4.3 CONSIDERAÇÕES GERAIS PARA O PAVILHÃO INDUSTRIAL

No pavilhão, observando-se os fluxos térmicos para o dia típico de verão, verificam-se, de maneira geral, que as Situações 3, 12 e 13 são as melhores combinações, apresentando os menores ganhos de calor, atentando para a baixa absorvância solar dos fechamentos verticais, que é ainda mais interessante que a colocação de um material de melhor desempenho térmico nas paredes. Melhores resultados se verificam quando a baixa absorvância é aliada à boa ventilação da edificação.

As situações 12 e 13 apresentam fluxos térmicos semelhantes, embora uma apresentando ventilação contínua e a outra controlada por temperatura, pois no caso do pavilhão a geração interna de calor é muito elevada, e a necessidade de fechamento das esquadrias ocorre em poucos períodos do ano.

Quanto ao conforto térmico, verifica-se que o menor número de horas em desconforto por calor se dá nas Situações 3, 11 e 12, sendo a situação 11 mais benéfica que a 12, pois apesar dos altos ganhos por paredes e cobertura, o isolamento da cobertura isola o calor desta, dificultando sua descida à altura em que se encontram as pessoas, e a configuração de uma ventilação contínua retira maiores ganhos de calor, isso sendo mais bem explicitado pelas grandes perdas que ocorrem por infiltração no verão para esta Situação.

O número de horas em desconforto térmico por calor na situação 3 e na 11 é bastante semelhante.

O número de horas em desconforto por frio reduz ao passo que aumenta o desconforto por calor das Situações analisadas. Ele é menor quando a edificação está totalmente fechada (Situação 2), na situação original (Situação 1), ou quando é utilizado o forro de PVC junto à ventilação controlada (Situação 9, 10 e 13), situações estas que apresentam baixos ganhos e perdas de calor no inverno.

De maneira geral, analisando-se os gráficos relacionados às horas em conforto térmico, a Situação de melhor equilíbrio entre os desconfortos gerados por calor e por frio é a Situação 13, o que significa que as soluções construtivas de maior viabilidade de implantação para este tipo de edificação são o uso da baixa

absortância solar em paredes e coberturas, a configuração de aberturas para ventilação de entrada (mais baixas) e de aberturas para exaustão de ar, próximas à cobertura, e que estas aberturas possam ser controladas para fechar nos períodos mais frios. Além disso, a utilização de forro, configurando uma câmara de ar na cobertura, e a utilização de iluminação artificial com lâmpadas mais eficientes e que geram menos calor ao ambiente, minimizam o desconforto por calor.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS PARA O ESCRITÓRIO

Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos por meio das análises de eficiência energética e fluxos térmicos da edificação que abriga o escritório da empresa, assim propondo estratégias bioclimáticas possíveis de serem implantadas a essa edificação.

5.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO PRÉDIO DE ESCRITÓRIO – MÉTODO PRESCRITIVO

O método prescritivo do RTQ-C considera em sua avaliação, primeiramente, os pré-requisitos gerais e, em seguida, a avaliação dos pré-requisitos específicos dos sistemas em análise com pesos respectivos na equação final (envoltória de 30%, sistema de iluminação de 30% e sistema de condicionamento de ar de 40%), para ao final somar as bonificações, se estas existirem.

Na avaliação dos pré-requisitos gerais, a edificação apresentou “A” por possuir circuito elétrico separado por uso final. O edifício não faz uso de água quente, não sendo necessária esta avaliação.

5.1.1 Envoltória

Na análise da envoltória, consideram-se os pré-requisitos de transmitância térmica e absorvância solar de paredes e cobertura.

Por meio do Quadro 2, verifica-se que a envoltória apresentou a classificação de nível C de energia.

Para o cálculo do consumo da envoltória foram calculados, por planilha eletrônica de cálculo, a área de projeção do edifício (A_{pe}), a área total construída (A_{tot}), a área da envoltória (A_{env}), a área de projeção da cobertura ($A_{p_{cob}}$), o ângulo vertical de sombreamento (AVS), o ângulo horizontal de sombreamento (AHS), o fator forma (FF), o fator altura (FA), o fator solar (FS), o percentual de abertura na fachada total (PAFT) e o volume total da edificação (V_{tot}).

Quadro 5– Análise dos pré-requisitos da envoltória.

Dados	Nível A	Nível B	Nível C e D	Edifício	Nível
Transmitância da parede	1	2	3,7	2,52	C
Transmitância da cobertura (climatizado)	0,5	1	2	0,77	B
Absortância de parede $\alpha <$	0,5	-	-	0,70	C
Absortância de cobertura $\alpha <$	0,5	0,5	-	0,55	C

Fonte: Autora.

Na sequência, são calculados os índices de consumo da envoltória IC_{\max} e o IC_{\min} para obter o índice que determina o intervalo de mudança de nível, conforme o Quadro 3.

Quadro 6 – Elementos necessários ao cálculo do consumo da envoltória.

ZONA BIOCLIMÁTICA 2			
	ENVOLTÓRIA	MÍNIMO	MÁXIMO
APE	209,10	209,10	209,10
PAFT	0,35	0,05	0,6
FA	1,00	1,00	1,00
FF	0,55	0,55	0,55
FS	0,225	0,87	0,61
AVS	18,02	0	0
AHS	0	0	0

Fonte: Autora.

Calculada a envoltória, por meio da Equação 3, resultou-se em um IC_{env} de 525,19; IC_{\min} de 525,62 e IC_{\max} de 536,19. Logo, estabelecem-se os limites mínimos para o intervalo de mudança de nível, resultando no Quadro 4.

Quadro 7 – Limites e intervalo de mudança de nível.

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite Mínimo	-	528,28	530,92	533,56	536,20
Limite Máximo	528,27	530,91	533,55	536,19	-

Fonte: Autora.

Como se pode verificar, a envoltória da edificação classificou-se em nível A, porém, na análise dos pré-requisitos, ela recebeu o nível C, assim rebaixando-a para o nível C.

5.1.2 Sistema de iluminação

Na análise do sistema de iluminação, realizada pelo método das áreas, foram consideradas as características do sistema e o atendimento aos pré-requisitos específicos, conforme o Quadro 5.

Quadro 8 – Características do Sistema de Iluminação e análise dos pré-requisitos específicos.

Ambiente	Área	Potência. Ilum. (W)	PRÉ - REQUISITOS				Nível final
			Divisão circuitos	Luz natural	Deslig. Autom.	Eq. Num.	
RECEPÇÃO	20,8	884	SIM	SIM	SIM	5	A
LAVABO	2,55	104	SIM	NÃO	SIM	3	C
REUNIÕES	15,25	390	SIM	NÃO	SIM	3	C
DIRETORIA	15,08	262	SIM	NÃO	SIM	3	C
ENGENHARIA	88,81	1440	SIM	NÃO	SIM	3	C
CPD	5,2	46	SIM	NÃO	SIM	3	C
BANHEIRO FEM.	1,92	104	SIM	NÃO	SIM	3	C
BANHEIRO MASC.	1,92	104	SIM	NÃO	SIM	3	C
LAVATÓRIO	3,9	229	SIM	NÃO	SIM	3	C
RH/ENTREVISTA	7,37	92	SIM	NÃO	SIM	3	C
CONTABILIDADE	11,98	112	SIM	NÃO	SIM	3	C
CIRCULAÇÃO	11,64	284	SIM	NÃO	SIM	3	C
ARQUIVO	2,7	46	SIM	SIM	SIM	5	A
TOTAL	189,12	4097	-	-	-	-	-

Fonte: Autora.

Calculada a DPI da edificação, avaliam-se os intervalos de nível correspondente à área total iluminada, conforme o Quadro 6.

Quadro 9 – Cálculo da DPI limite.

DPI (W/m ²)				
ATIVIDADE	A	B	C	D
ESCRITÓRIO	9,7	11,2	12,6	14,1
	DPI x ÁREA TOTAL ILUMINADA			
	1834,46	2118,14	2382,91	2666,59

Fonte: Autora.

A densidade de potência instalada (DPI) detectada na avaliação da edificação corresponde ao nível E (1). Embora esta situação não possa ser revertida com a análise dos pré-requisitos, que, ao contrário, servem para rebaixá-la, estes serão expostos no Quadro 7 como parte do processo de avaliação do sistema de iluminação.

Quadro 10 – Ponderação dos pré-requisitos pela área.

Ambiente	Potência (W)	Ponderação	Equi Num (pré-req)	Ponderação
RECEPÇÃO	884	0,22	5	1,08
LAVABO (entrada)	104	0,03	3	0,08
REUNIÕES	390	0,10	3	0,29
DIRETORIA	262	0,06	3	0,19
ENGENHARIA	1440	0,35	3	1,05
CPD	46	0,01	3	0,03
LAVABO 1	104	0,03	3	0,08
LAVABO 2	104	0,03	3	0,08
LAVATÓRIO	229	0,06	3	0,17
RH/ENTREVISTA	92	0,02	3	0,07
CONTABILIDADE	112	0,03	3	0,08
CIRCULAÇÃO	284	0,07	3	0,21
ARQUIVO	46	0,01	5	0,06
TOTAL	4097	1	-	3,45

Fonte: Autora.

Após a ponderação, o sistema de iluminação avaliado recebe o Nível C, porém já havia sido classificado como Nível E, assim permanecendo.

5.1.3 Sistema de Condicionamento de ar

A avaliação do sistema de condicionamento de ar considerou, inicialmente, a análise dos pré-requisitos específicos, em que são avaliados o isolamento térmico para os dutos de ar e tubulações de água gelada e o coeficiente de performance (COP) de cada máquina.

Os dutos atenderam ao isolamento, porém, no critério do COP, apenas uma das máquinas atende à classificação A do INMETRO, definindo a edificação com a classificação máxima de nível B.

A avaliação segundo potência e eficiência, com ponderação pela área, encontra-se no Quadro 8.

A avaliação do sistema de condicionamento de ar enquadra a edificação no nível C de classificação energética. Como a análise do pré-requisito estabelece o máximo nível B, esta se mantém como nível C.

Quadro 11 – Avaliação do Sistema de Condicionamento de Ar.

Ambiente	Potência (BTU/h)	Ponderação	Eficiência	Eq. Num.	COP	Ponderação X Eq. Num.
RECEPÇÃO	12.000	0,11	B	4	3,2	0,46
REUNIÕES	9.000	0,09	C	3	2,95	0,26
DIRETORIA	9.000	0,09	C	3	2,9	0,26
ENGENHARIA	30.000	0,29	C	3	2,61	0,86
ENGENHARIA	18.000	0,17	C	3	2,77	0,52
CPD	7.000	0,07	C	3	2,91	0,20
RH/ENTREVISTA	7.500	0,07	D	2	2,28	0,14
CONTABILIDADE	12.000	0,11	D	2	2,46	0,23
TOTAL	104.500	-	-	-	-	2,93

Fonte: Autora.

5.1.4 Classificação Final

A classificação final da edificação é calculada de acordo com a distribuição dos pesos por meio da Equação 2, considerando as áreas e os equivalentes numéricos, conforme o Quadro 9.

Quadro 12 – Dados considerados na equação de classificação final da edificação.

NÍVEL DE EFICIÊNCIA	
	área (m²)
Área útil do andar - AU	189,12
Área condicionada - AC = APP	164,49
Área útil dos ambientes de perm. transitória (APT)	24,63
EqNumV	1 (E)
EqNum Envoltória	3 (C)
EqNum Iluminação	1 (E)
EqNum Ar Condicionado	2,93 (C)

Fonte: Autora.

Após o cálculo com a Equação 2, o Equivalente Numérico encontrado foi de 2,19, ou seja, Nível D. Como a edificação não apresenta nenhuma bonificação, esta permanece com o Nível D.

O nível alcançado é consequência das demais avaliações de envoltória, sistema de iluminação e condicionamento de ar. A envoltória, apesar da classificação A, apresenta a classificação final C, devido à alta transmitância térmica das paredes e alta absorvância solar em paredes e cobertura, pré-requisitos específicos de sua avaliação. Quanto ao sistema de iluminação, o superdimensionamento da potência instalada em alguns casos, e a utilização de lâmpadas altamente consumidoras, em outros, fizeram o nível do sistema cair para E. O sistema de condicionamento de ar alcança o nível C pelo uso de máquinas de baixa eficiência. Ainda, a não configuração da ventilação natural considera neste critério que se utilize o nível E.

5.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO PRÉDIO DE ESCRITÓRIO – MÉTODO DE SIMULAÇÃO

O método de simulação considera a modelagem de um edifício real e outros 4 modelos de edifícios de referência para os diferentes níveis de energia (A, B, C e D).

Para os modelos de referência, foram consideradas alterações no sistema de iluminação e condicionamento de ar e envoltória, conforme as especificações do RTQ-C, para a simulação da ENCE Geral. Observou-se que o cálculo do novo PAF_T

para a situação do modelo de consumo A é o mesmo que o modelo de referência (0,35), não havendo a necessidade de alterar este critério na simulação do modelo. Os demais PAF_T encontrados foram de 0,47 para o modelo B, 0,60 para o modelo C e 0,71 para o modelo D.

Os resultados do consumo anual de energia para os modelos simulados são apresentados no Quadro 10.

Quadro 13 – Consumo anual de energia nos modelos analisados.

Edifício Real	Modelo A	Modelo B	Modelo C	Modelo D
23.037,48 kWh	17.020,94 kWh	18.146,20 kWh	21.224,54 kWh	24.371,13 kWh

Fonte: Autora.

Por meio da análise do consumo energético dos modelos, a edificação se enquadra no nível D de energia. Como não há bonificações a serem somadas e que possam melhorar esta classificação, o escritório mantém-se no nível D.

É interessante observar que em ambos os métodos analisados, prescritivo e de simulação computacional, a edificação obteve a mesma classificação energética, pois a simulação também considera nos seus modelos os critérios utilizados para classificar em níveis no prescritivo: absorvância solar e transmitância térmica, níveis de iluminação e COP dos aparelhos condicionadores de ar.

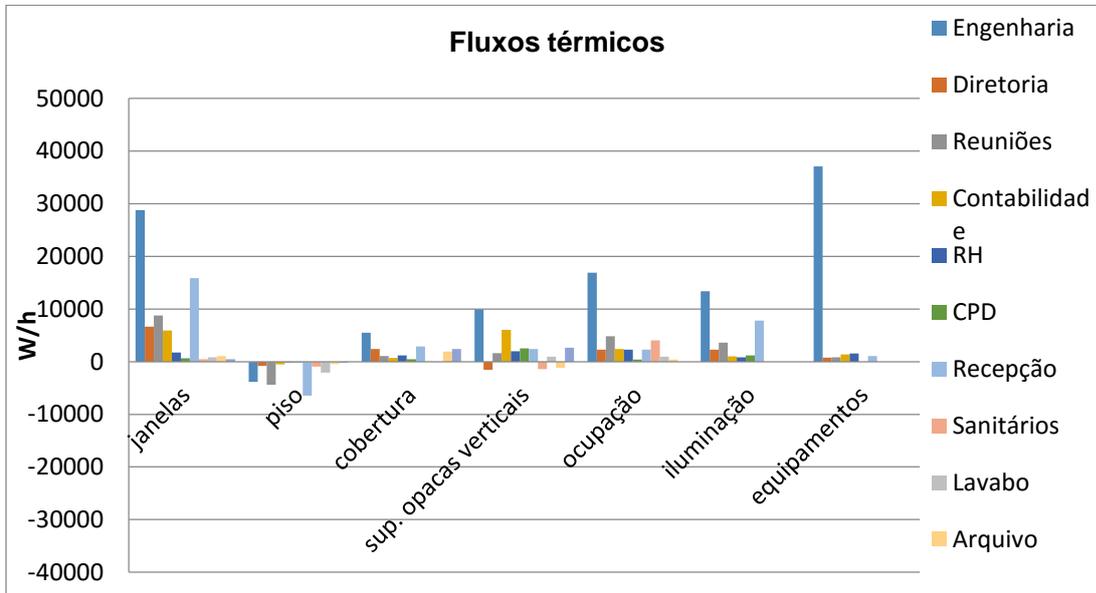
Porém, a análise pelo método de simulação considera a utilização de diferentes PAF_T para cada modelo de referência. No estudo de caso, o modelo real com PAF_T , correspondente ao nível A dos modelos de referência, mostrou ser ineficiente para a melhora de nível em relação ao prescritivo.

5.3 FLUXOS TÉRMICOS E PROPOSTAS DE SOLUÇÕES – ESCRITÓRIO

A verificação dos fluxos térmicos fundamentou a avaliação do comportamento térmico do edifício de escritório, considerando as perdas e os ganhos de calor na edificação por meio de seus fechamentos, com análises para os dias típicos de verão e de inverno, para a cidade de Santa Maria/RS.

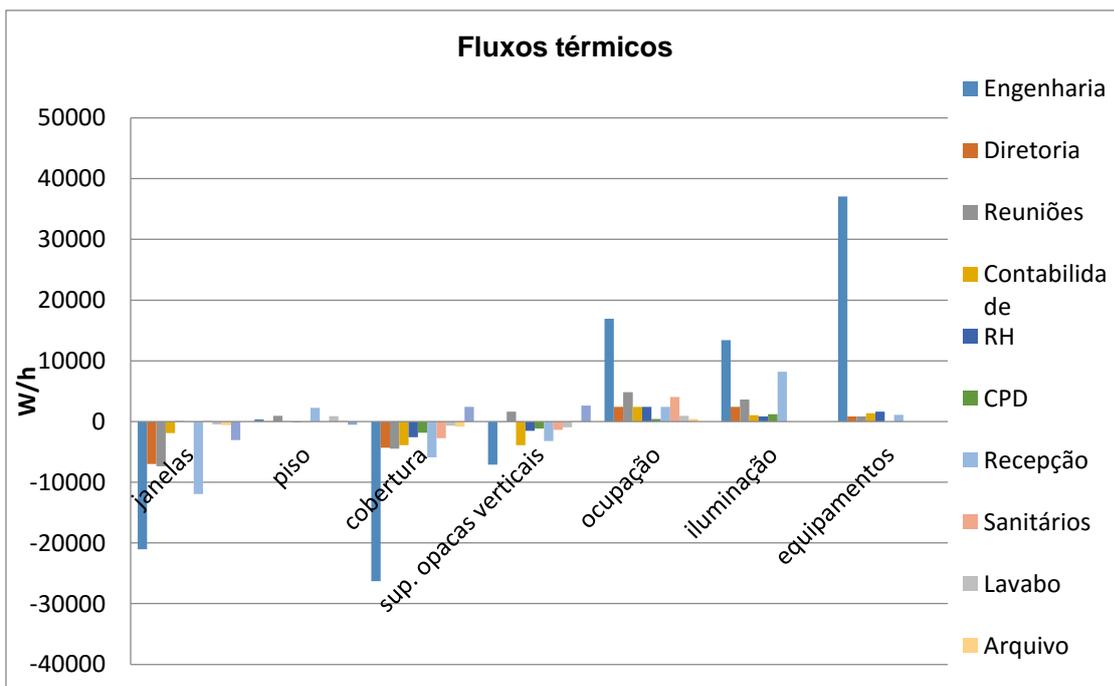
As perdas e os ganhos de calor na situação real do escritório são apresentados para verão, no gráfico da Figura 32, e para inverno, na Figura 33.

Figura 32 – Fluxos térmicos no modelo real do escritório – dia típico de verão.



Fonte: Autora.

Figura 33 – Fluxos térmicos no modelo real do escritório – dia típico de inverno.



Fonte: Autora.

No modelo real do escritório, as perdas e os ganhos de calor são proporcionais às áreas dos ambientes, fato que é percebido mais facilmente nos fluxos da sala de engenharia e recepção, que são os maiores ambientes, representando os maiores ganhos e, conseqüentemente, as maiores perdas. No caso dos ganhos e perdas pelas janelas, se devem ao fato destes ambientes também concentrarem as maiores aberturas.

Observa-se que os ganhos de calor gerados pelas cargas internas (iluminação, equipamentos e ocupação), no período de verão e inverno, são a parcela de maior representatividade em ganhos.

No verão, o restante dos ganhos é advindo das janelas, fechamentos opacos verticais e cobertura. Ganhos pelas janelas são mais representativos, devido à grande área envidraçada na edificação, e menores na cobertura, em razão da baixa transmitância térmica, em função do isolamento utilizado nas telhas sanduíche.

Devido à climatização da edificação, os elevados ganhos de calor não são perceptíveis, mantendo o ambiente em conforto, porém com alto consumo de energia. Entre os elementos considerados na avaliação, o único que apresenta perdas de calor é o piso.

No inverno, há uma pequena parcela dos ganhos de calor oriundos do piso, cobertura e superfícies opacas verticais. Porém, ganhos provindos do piso são mais representativos na recepção; assim como a cobertura permite uma maior entrada de calor no ambiente de circulação, a qual tem menores perdas devido à sua posição central na edificação. Nas superfícies opacas verticais, os ganhos acontecem, principalmente, nos ambientes de circulação, sala de reuniões e quase que imperceptíveis ganhos no arquivo.

O inverno também se caracteriza por grandes perdas de calor pela cobertura, superfícies opacas verticais e pelas janelas.

A partir das análises do modelo real (Situação 1) da edificação e, com base nas avaliações do RTQ-C, podem ser configuradas possíveis alterações na edificação que reduzam o consumo de energia, por meio da análise das seguintes situações:

- Situação 1: Edificação na condição real (objeto de estudo) – situação base 1 para as demais;

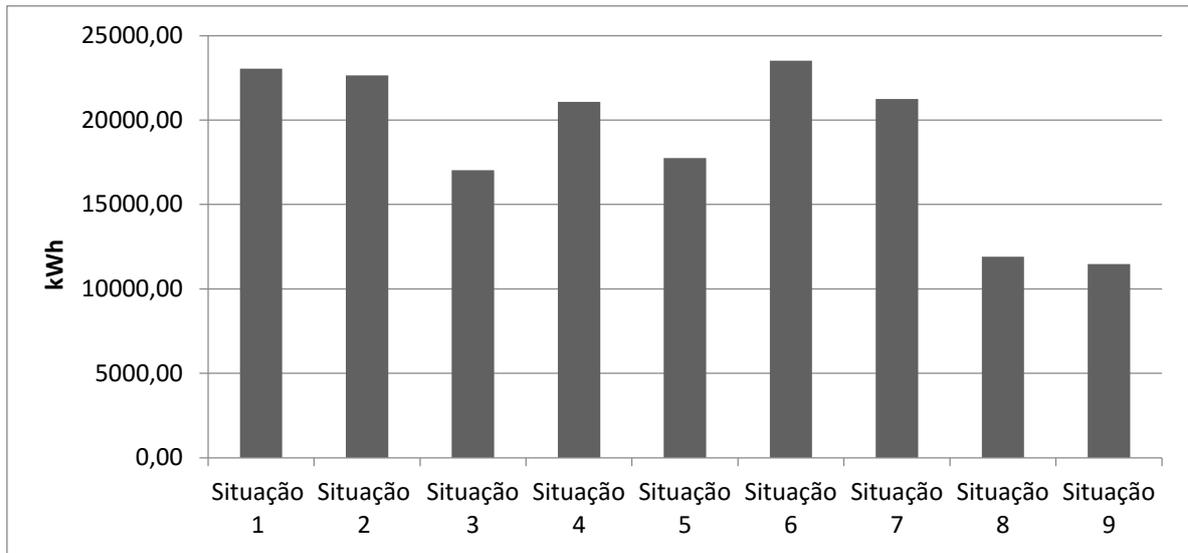
- Situação 2: Substituição da absorvância solar dos fechamentos opacos (paredes e cobertura) para uma absorvância de 0,2;
- Situação 3: Substituição total das 112 lâmpadas utilizadas para a iluminação artificial da edificação pelas equivalentes em LED, configurando uma iluminação equivalente ao conjunto anterior;
- Situação 4: Substituição dos equipamentos condicionadores de ar do tipo Split por outros de menor consumo energético, que possuam a Etiqueta A de classificação energética do INMETRO (*setpoint* real de uso de 22°C para aquecimento e resfriamento);
- Situação 5: Situação 4 com configuração de *setpoint* de 22°C para aquecimento e 24°C para resfriamento (testada a melhor configuração para o *setpoint*);
- Situação 6: Configuração de proteções solares internas às janelas;
- Situação 7: Configuração de proteções solares externas às janelas;
- Situação 8: Alterações consideradas nas Situações 2, 3 e 5;
- Situação 9: Alterações consideradas nas Situações 2, 3, 5 e 7.

Na configuração das proteções solares foram consideradas proteções refletivas em rolo, do tipo cortina, que podem ser utilizadas interna ou externamente, através do objeto *Shade* do *EnergyPlus*. A escolha deste objeto deve-se justamente à permissão de utilização nas duas faces. Foi configurada uma cortina com refletância solar de 65%, distanciadas a 5 cm dos vidros e com espessura de 1mm, refletância visível de 30%, emissividade de raios infravermelho de 5%, condutividade de 230 W/m.K e transmitância solar e transmitância de raios infravermelhos de 0.

A operação das proteções solares considerou como meses quentes, os meses de outubro a março e meses frios, o período de março a setembro. Nestes, houve a abertura total das proteções solares no período noturno, entre 19h às 7h, para os meses quentes e o fechamento total no mesmo horário, para os meses frios. Para os demais horários do dia foi considerada a abertura das proteções solares em 50%.

O consumo anual de energia para as situações analisadas é exposto no gráfico da Figura 34.

Figura 34 – Consumo anual para as Situações propostas.



Fonte: Autora.

No gráfico da Figura 34, verifica-se que o consumo anual de energia se reduz principalmente com a substituição dos conjuntos utilizados para iluminação artificial por lâmpadas mais eficientes, com redução de 26,66%. A climatização artificial mostra-se eficiente por meio da adoção de um *setpoint* adequado para os climatizadores, que alcançam redução de 22,98% no consumo anual de energia. Apenas a substituição das máquinas existentes no escritório por máquinas de menor consumo de energia, ocasionou baixa redução no consumo anual.

Quanto à utilização de proteções solares internas nas janelas, estas demonstraram um aumento no consumo energético em relação à situação inicial. Porém, quando utilizadas externamente é possível ter uma pequena redução. Isso se deve principalmente pelo uso das películas existentes nas janelas da fachada norte e do uso de vidros refletivos na fachada sul, que demonstram sua eficiência na reflexão do calor, resultando na pouca diferença da aplicação das proteções solares. Os maiores ganhos, nesse caso, são por absorção da radiação solar e liberação para o interior. A proteção solar interna isoladamente acarreta em aumento de consumo anual de energia se comparada a situação inicial e a proteção solar externa reduz o consumo anual de energia em 7,77%.

Comparadas as situações 8 e 9, estas possuem um consumo anual equivalente, mostrando que a utilização das proteções solares, não aparecem como

resultado do consumo energético no conjunto com as demais soluções. Devido ao fato de serem elementos que permitem movimentação e controle de uso, sua avaliação será considerada em item específico (5.3.1).

Ao final, o impacto de todas as soluções propostas juntas (Situação 8), acarreta na redução de 11.141,98 kWh anuais no consumo de energia, ou seja, o equivalente a uma redução de 48,36%.

Avaliando a tarifa energética para iluminação artificial do escritório, no período considerado fora da ponta (a maior parte do tempo), considerando que a empresa contratou uma tarifa de energia horária verde, com demanda contratada especificada para horários fora da ponta e valor diferenciado para o consumo na ponta, o que engloba o consumo das duas edificações analisadas e taxa de ICMS de 18% sobre o consumo total, optou-se por considerar a tarifa equivalente a R\$ 0,35 o kW (sem ICMS e outros encargos), no sentido de estipular que a conta de energia da situação real do escritório, que equivaleria a R\$ 8.293,49, nas condições acima descritas, após a aplicação das soluções, passaria a R\$ 4.163,42, em valores atuais.

Além disso, o consumo anual de energia elétrica, considerando as proposições da situação 9, equivale a 11.895,5 kWh, o que eleva a classificação da edificação ao nível A do RTQ-C.

5.3.1 Proteções solares

As proteções solares, diferente das demais soluções propostas anteriormente, são elementos que podem ser controlados para usos distintos no verão e inverno. Como constatado anteriormente, as proteções solares externas são mais eficientes que as internas. Nesse sentido, foram analisados os fluxos térmicos com o uso de proteções solares externas no ambiente de engenharia, por ser o maior ambiente do escritório e com maior área de aberturas.

A análise contemplou a utilização do objeto *Blind* do *EnergyPlus*, que consiste em um brise externo com aletas (14cm), por ser uma proteção mais eficiente que o anteriormente usado, permitindo que o ângulo das aletas se adapte a luz solar. Foram consideradas as mesmas características ópticas dos objetos configurados anteriormente para o objeto *Shade* para as análises nos dias típicos de verão e

inverno. E configurada uma *Schedule* para abertura das esquadrias conforme a Tabela 13.

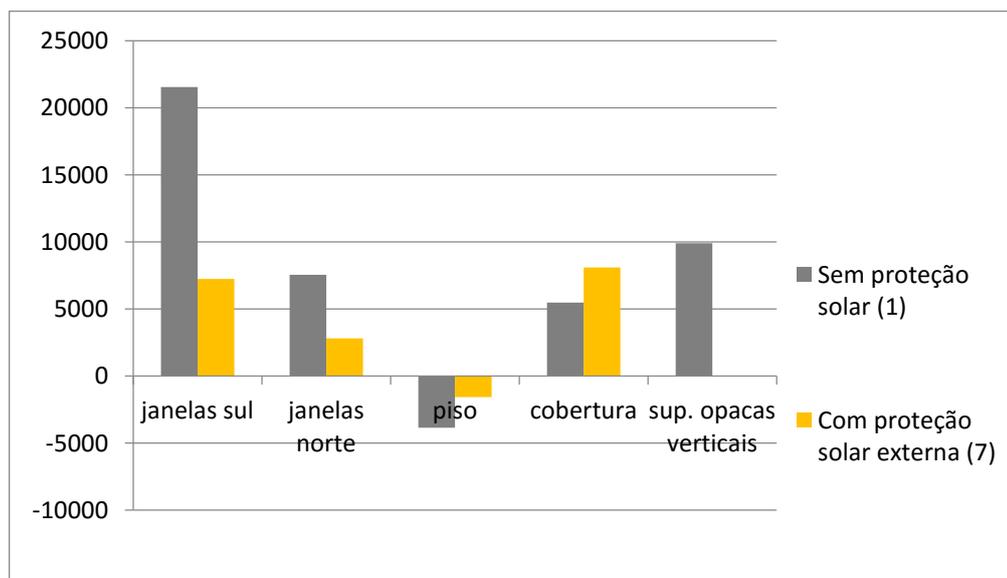
Tabela 13 – Operação das proteções solares externas

Data	Horário	Percentual de abertura
Até 28/2	Até as 7:30h	100%
	Até as 18:30h	25%
	Até as 24:00h	100%
Até 31/5	Nas 24h	50%
Até 31/8	Nas 24h	100%
Até 30/11	Nas 24h	50%
Até 31/12	Até as 7:30h	100%
	Até as 18:30h	25%
	Até as 24:00h	100%

Fonte: Autora.

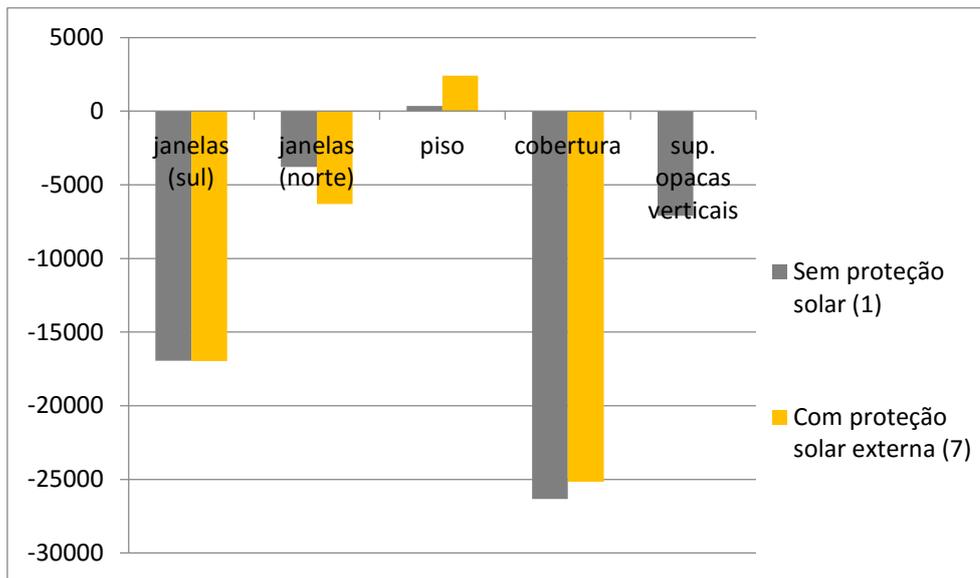
Os fluxos térmicos no ambiente de engenharia para as situações de análise sem proteções solares externas (Situação 1) e com proteções solares externas (Situação 7) são apresentados nos gráficos das figuras 35 e 36.

Figura 35 – Fluxos térmicos do ambiente de engenharia para uso de proteções solares externas no dia típico de verão



Fonte: Autora.

Figura 36 – Fluxos térmicos do ambiente de engenharia para uso de proteções solares externas no dia típico de inverno



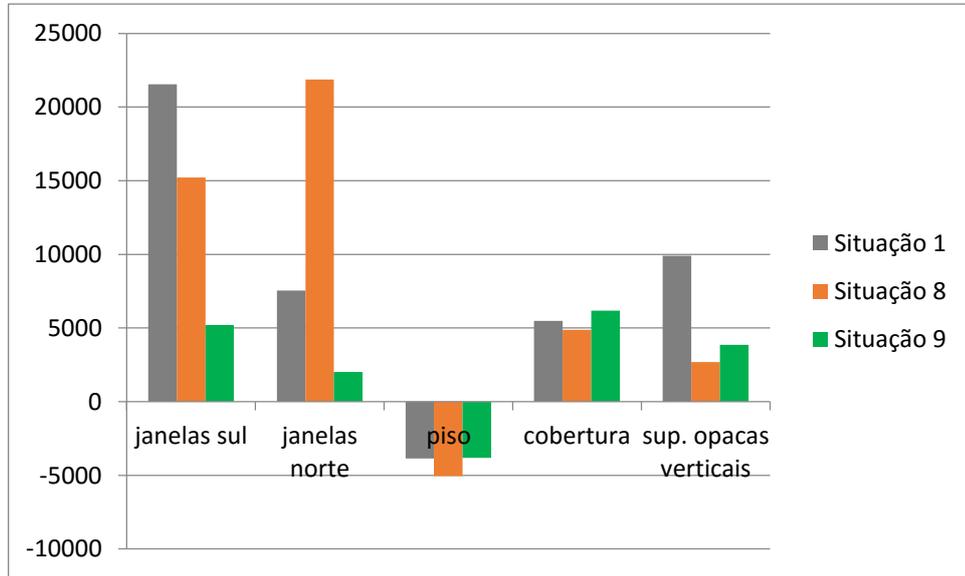
Fonte: Autora.

Na situação de análise de verão, observa-se que os ganhos de calor provenientes das janelas norte e sul são amenizados com o uso das proteções solares externas, consequentemente aumentando os ganhos de calor pela cobertura e superfícies opacas verticais. Como os ganhos pelas janelas são mais elevados que pelas outras duas, o uso das proteções solares é eficiente.

No inverno, o uso das proteções solares na orientação sul é equivalente à situação de não utilização, devido à quase nula incidência dos raios solares no período. Nas janelas da fachada norte, a utilização das proteções solares não é eficiente, devido à necessidade de aquecimento do ambiente, embora reduzindo as perdas de calor pela cobertura e superfícies opacas verticais.

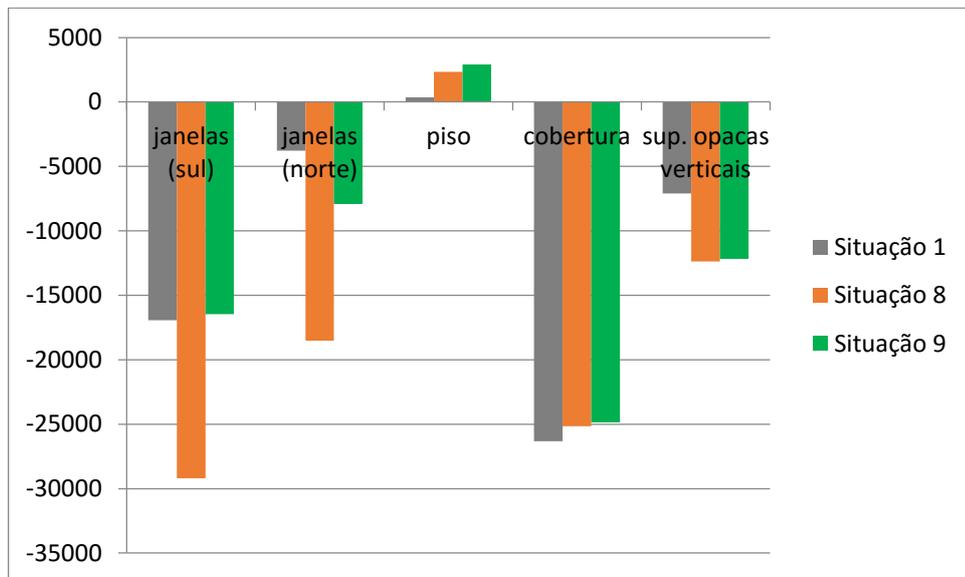
Além da avaliação isolada da utilização das proteções solares, foram analisados os fluxos térmicos para as situações de uso de proteções solares externas em relação às Situações 1, 8 e 9 do item 5.3 deste trabalho, conforme as Figuras 37 e 38.

Figura 37 – Fluxos térmicos do ambiente de engenharia para as Situações 1, 8 e 9 no dia típico de verão



Fonte: Autora.

Figura 38 – Fluxos térmicos do ambiente de engenharia para as Situações 1, 8 e 9 no dia típico de inverno



Fonte: Autora.

Observa-se que o uso de proteções solares externas em conjunto com as demais soluções dadas à edificação do escritório (item 5.3), para o contexto do dia típico de verão, reduz significativamente os ganhos pelas janelas das fachadas norte e sul. Embora haja o aumento dos ganhos de calor pela cobertura e superfícies opacas verticais, estes não chegam a ser significativos se comparados à redução total dos ganhos de calor no ambiente.

No inverno, o uso das proteções solares externas também se faz eficiente, reduzindo as perdas de calor pelas janelas da fachada sul, cobertura e superfícies opacas verticais e aumentando os ganhos pelo piso. Na fachada norte, as perdas de calor pelas janelas são menores na Situação 1, porém, como a edificação precisa estar adaptada aos impactos do inverno e verão, a situação mais benéfica é a da Situação 9.

5.4 CONSIDERAÇÕES GERAIS - ESCRITÓRIO

A avaliação da eficiência energética do escritório, pelo método do RTQ-C, aponta para deficiências na envoltória e nos sistemas de iluminação e condicionamento de ar. A envoltória pela alta transmitância térmica de paredes e alta absorvância solar em paredes e cobertura; o sistema de iluminação, pelas altas potências instaladas e a utilização de lâmpadas de elevado consumo; e o sistema de condicionamento de ar pelo uso de máquinas de baixa eficiência.

A análise dos fluxos térmicos do escritório remete à elevada geração de calor pelas cargas internas (ocupação, equipamentos e iluminação) no verão e inverno. No verão, aliada a esta condição inicial, somam-se importantes ganhos de calor provenientes das janelas, fechamentos opacos verticais e cobertura. No inverno, ocorrem perdas significativas pela cobertura e janelas, e uma parcela pelos fechamentos opacos verticais.

Quanto às áreas envidraçadas, pode-se observar com o método de simulação do RTQ-C e dos fluxos térmicos do escritório, que o PAF_T correspondente ao nível A do método de simulação do RTQ-C, não indica necessariamente a eficiência do percentual destinado às aberturas, que apresentam altos fluxos térmicos, pois edificações com algumas fachadas muito envidraçadas e outras com pequenas aberturas, que é o caso do escritório, podem ter o mesmo PAF_T que outras

edificações que possuam percentuais de aberturas proporcionais em todas as fachadas, o que não significa que tenham o mesmo nível de eficiência em sua envoltória.

As propostas de soluções foram baseadas no intuito de minimizar os fluxos térmicos, que estão em harmonia com a avaliação da eficiência energética do RTQ-C. Observou-se que as soluções propostas que envolveram somente a envoltória (Situações 2, 6 e 7) não resultaram na redução significativa do consumo de energia, porém, as soluções focadas na utilização de iluminação artificial mais eficiente e de *setpoint* adequado para a climatização artificial, mostraram-se mais efetivas.

A proposição de uso de proteções solares externas se mostrou eficiente na correção dos fluxos térmicos, reduzindo ganhos de calor no verão e perdas no inverno por meio das janelas. Embora o consumo anual de energia da edificação não tenha sofrido muito impacto com a utilização das proteções solares.

Como a edificação tem ocupação predominante diurna e sofre grande amplitude térmica diária, o uso de fechamentos com elevada inércia térmica, como é a configuração da cobertura da edificação e de algumas paredes, ameniza os picos diários de temperatura, armazenando o calor durante o dia e liberando-o durante a noite, reduzindo o consumo de energia gasto com climatização.

Vale destacar que a mais eficiente das proposições é considerá-las como um conjunto de soluções que proporcionam menores gastos com energia elétrica, não as utilizando de forma isolada, ou seja, a absorção solar que não foi tão determinante isoladamente, em conjunto com sistemas mais eficientes de iluminação e o ajuste do *setpoint* das máquinas condicionadoras de ar, formam a proposição mais eficiente, assim como a utilização das proteções solares externas, em conjunto com as demais soluções, impacta positivamente reduzindo os ganhos de calor pelas janelas no verão e as perdas pelas janelas no inverno.

6 CONCLUSÕES

Este trabalho avaliou as possibilidades de aplicação de estratégias bioclimáticas na redução do consumo de energia elétrica e na melhora das condições de conforto térmico de instalações industriais localizadas na Zona Bioclimática Brasileira 2.

O método utilizado para a análise do conforto térmico no pavilhão industrial se mostrou eficiente, à medida que avalia as condições de conforto nas horas ocupadas pelos trabalhadores, destacando os percentuais de desconforto por frio e por calor.

Da mesma forma, o método do RTQ-C para avaliar a eficiência energética do edifício de escritório, seja pela análise prescritiva ou de simulação computacional, destaca os elementos que contribuem para aumentar o consumo de energia de uma edificação.

A adoção de soluções construtivas por meio da análise dos fluxos térmicos das edificações também foi eficaz, mostrando a redução do desconforto térmico ou do consumo energético por soluções que minimizaram fluxos por ganhos ou perdas de calor.

Os principais fluxos no pavilhão industrial apontaram para elevados ganhos de calor por equipamentos, iluminação e superfícies opacas verticais e perdas ocasionadas por infiltração e pelo piso; destacando-se os principais ganhos pela cobertura e as principais perdas por infiltração. Além disso, o sistema de condicionamento de ar, que é baseado na ventilação natural, mostrou que a área de aberturas para ventilação é insuficiente.

Nesse sentido, uma das soluções construtivas mais eficientes foi a adoção da saída da ventilação através de aberturas com alto peitoril, necessárias para a retirada do calor interno, que em parte é gerado pelas cargas internas e em parte proveniente de ganhos por fechamentos, atentando para o controle desta ventilação para que não ocorra o desconforto por frio. Nesse caso, a configuração de paredes com baixa transmitância térmica não se mostrou muito eficiente, ao contrário da absorvância solar dos fechamentos, que foi determinante para reduzir o desconforto. Além da ventilação e uso da baixa absorvância solar como soluções construtivas, a utilização de um sistema de iluminação mais eficiente colaborou para a redução dos ganhos internos de calor. Juntas, as três melhorias tem potencial de reduzir o

desconforto em 12,81%, sendo que desta redução, 8,61% do desconforto gerado por calor.

A análise da eficiência energética do escritório apontou para sistemas de iluminação e climatização ineficientes devido ao seu elevado consumo e de uma envoltória com alta transmitância térmica e absorvância solar. Os principais fluxos térmicos no escritório ocorrem por ganhos de calor através de equipamentos e iluminação e na envoltória através das janelas e superfícies opacas verticais.

A escolha das soluções propositivas para o escritório, baseadas nas análises da eficiência e dos fluxos, elegeram o uso do *setpoint* de resfriamento de 24°C e de aquecimento de 22°C para aparelhos climatizadores de ar, reduzindo o consumo de energia, solução simples que se mostrou mais eficiente que a utilização de máquinas de maior COP. Também a utilização de um sistema de iluminação que gere menos calor e consuma menos energia, ambos aliados à baixa absorvância solar de paredes e cobertura, reduzindo 48,36% do consumo de energia e elevando o nível de eficiência energética do escritório de D para A.

Embora os vidros utilizados nas janelas do escritório tenham um desempenho melhor se comparados a vidros comuns, eles não impedem a entrada total de calor. E o uso de proteções solares externas como solução mostrou-se eficiente na redução dos ganhos de calor no verão e das perdas no inverno, principalmente, quando as proteções solares estão em conjunto com as outras soluções (iluminação eficiente, ajuste dos aparelhos condicionadores de ar e baixa absorvância solar dos fechamentos opacos). O uso de grande área envidraçada em alguns ambientes prejudica a manutenção da temperatura interna, elevando o consumo com refrigeração, que poderia ser resolvido com maiores áreas de fechamentos opacos com elevada inércia térmica.

Em ambas as edificações, a utilização de sistemas de iluminação que gerem menos calor e consumam menos energia foi bastante significativa para a melhora no conforto térmico e redução de gastos com energia elétrica. As análises realizadas na envoltória das edificações analisadas, com usos e sistemas de condicionamento de ar distintos, apontam para o uso da baixa absorvância solar dos fechamentos e baixa transmitância térmica de coberturas (isolamento).

Assim como a análise por meio do RTQ-C atenta para a ineficiência da envoltória (nível D) da edificação que comporta o escritório, a análise de fluxos térmicos de ambas as edificações refletem as principais modificações a serem

consideradas, que são questões projetuais e podem ser resolvidas seguindo os conceitos da arquitetura bioclimática e a especificação equipamentos de condicionamento de ar e iluminação mais eficientes.

Os resultados deste trabalho contribuem para a tomada de decisão de projetistas ao se depararem com projetos de instalações industriais, que são projetos complexos, com uso baseado na alta geração de calor interno. Nesse sentido, a envoltória deve facilitar a perda destes ganhos e/ou dificultar a sua entrada, assim como a escolha de equipamentos que consumam menos energia é determinante para a eficiência energética da edificação.

REFERÊNCIAS

- ABESCO. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA. **O que é Eficiência Energética?** Disponível em: <<http://www.abesco.com.br/pt/o-que-e-eficiencia-energetica-ee/>>. Acesso em: jan. 2017.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3** – Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005. 23p.
- _____. **NBR 16401-1** – Instalações de ar- condicionado – Sistemas centrais e unitários. Parte 1: Projetos de instalações. Rio de Janeiro, 2008. 60p.
- _____. **NBR ISO/CIE 8995-1** – Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1: Interior. Rio de Janeiro, 2013. 46p.
- AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE SANTA MARIA. Santa Maria em dados. Disponível em: <<http://santamariaemdados.com.br/1-aspectos-gerais/1-2-localizacao/>>. Acesso: 10 out. 2015.
- ALLEN, J. G.; MACNAUGHTON, P.; SATISH, U.; SANTANAM, S.; VALLARINO, J.; SPENGLER, J.D. **Associations of cognitive function scores with carbon dioxide, ventilation, and volatile organic compound exposures in office workers: A controlled exposure study of green and conventional office environments.** Environ Health Perspectives, 2015. DOI: 10.1289/ehp.1510037.
- ANDRADE, S. F. de. **Estudo de estratégias bioclimáticas no clima de Florianópolis.** UFSC, 1996, 147p.
- ASHRAE. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE 55:** Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta. 2004.
- _____. **ANSI/ASHRAE 55:** Thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, GA, 2010. 37 p.
- _____. **ANSI/ASHRAE 55:** Thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, GA, 1992.
- _____. **ASHRAE Handbook: HVAC Applications. SI Editions.** Atlanta, 2011.
- BARDELIN, C. E. A. **Os efeitos do racionamento de energia elétrica ocorrido no Brasil em 2001 e 2002 com ênfase no consumo de energia elétrica.** Dissertação (metrado em engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA – MCT. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMERCIO EXTERIOR - MDIC. Portaria Interministerial nº 553, de 8 de dezembro de 2005. **Programa de Metas de motores elétricos de indução trifásicos.** Brasília, 2005.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Eficiência Energética. Premissas e diretrizes básicas**. 2011. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1432134/Plano+Nacional+Efici%C3%Aancia+Energ%C3%A9tica+%28PDF%29/74cc9843-cda5-4427-b623-b8d094ebf863?version=1.1>>. Acesso em: out. 2016.

_____. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2030**. Rio de Janeiro: EPE, 2007.

_____. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Balanço Energético Nacional (BEN). Relatório Síntese - Ano base 2015**. Rio de Janeiro, 2016.

BRITO, A. C. et al. Sugestões Para Revisão da Norma ABNT NBR 15.575:2008, Referentes ao Desempenho Térmico. In: ENCONTRO NACIONAL DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13, Canela, 2010. **Anais...** Canela: ANTAC, 2010.

CAMPANA, S.; OLIVEIRA FILHO, D.; SOARES, A. A.; OLIVEIRA, R. A. Estudo comparativo de métodos para estimativa do carregamento e rendimento de motores elétricos para auditoria energética. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, 1999.

CARLO, J. C. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envolvimento de Edificações Não-residenciais**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

CARLO, J.C.; LAMBERTS, R. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 1: método prescritivo. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 7-26, 2010.

CUNHA, E. G. da (Org.). **Elementos de arquitetura de climatização natural: método projetual buscando a eficiência nas edificações**. 2ª ed. Porto Alegre: Masquatro Editora, 2006. 188 p.

DE DEAR, R. J.; BRAGER, G. S.; COOPER, D. J. **Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference** – Final Report on ASHRAE RP 884. American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, USA, 1997.

DE DEAR, R. J.; BRAGER, G. S. Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. **ASHRAE Trans**, v.104, part 1A, 145-167, 1998.

DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO. Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação. **Instrução Normativa Nº 2**, de 4 de junho de 2014. Capítulo III da Seção I do Diário Oficial da União de Nº 106 de 5 junho de 2014, p. 103. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=05/06/2014&jornal=1&pagina=103&totalArquivos=164>>. Acesso em: 28 out. 2015.

DORNELLES, K. A. **Absortância solar de superfícies opacas: Método de determinação e base de dados para tintas látex, acrílica e PVA**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008.

ELEKTRO. ELETRICIDADE E SERVIÇOS S.A. **Sistemas Motrizes**. Disponível em: <<https://www.elektro.com.br/Media/Default/DocGalleries/Eficientiza%C3%A7%C3%A3o%20Energ%C3%A9tica/SistemasMotrizes.pdf>>. Acesso em: out. 2016.

ELETROBRAS/PROCEL EPP. **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NOS PRÉDIOS PÚBLICOS. Sistemas de Ar Condicionado.** 2011.

FANGER, P. O. **Thermal Comfort – analysis and application in environmental engineering.** Nova York: McGraw-Hill, 1970. 244 p.

FLORES, M. G. **Geração da base climática de Santa Maria - RS – Para Análise de Desempenho Térmico e Eficiência Energética de Edificações.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Preservação Ambiental). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2014.

FROZZA, J. F. **Eficiência energética em indústria frigorífica: Desafios de implantação.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2013.

GALINA, Rodrigo; CAVALCANTI, Tiago Mansur. **Análise de Eficiência Energética em Hospitais Públicos.** 2012, 89, p. Monografia (Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Paraná, Escola de Engenharia Elétrica, Paraná.

GARCIA, A. G. P. **Impacto da Lei de Eficiência Energética para Motores Elétricos no Potencial de Conservação de Energia na Indústria.** 2003. 127 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ. Rio de Janeiro, 2003.

GIVONI, B. **Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines.** Energy and Buildings, v.18, n.1, p. 11-23, 1992.

GONÇALVES, W. B. **Estudo de índice de conforto térmico, avaliados com base em população universitária da região metropolitana de Belo Horizonte.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2000.

GOULART, S. O papel da inércia térmica como técnica de resfriamento passivo para residências em clima quente e úmido – Estudo de caso em Florianópolis. In: IX ENCONTRO NACIONAL DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Foz do Iguaçu, 2002. **Anais...** Foz do Iguaçu: ANTAC, 2002. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/entac2014/2002/Artigos/ENTAC2002_0231_240.pdf>. Acesso em: mar. 2017.

GUILLIOD, S., CORDEIRO, M. L. **Manual do Pré-Diagnóstico Energético. Autodiagnóstico na Área de Prédio Públicos.** Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2010.

GRAÇA, G. C. da; LINDEN, P. **Ten questions about natural ventilation of non-domestic buildings,** Building and Environment. v. 107, p 263-273, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/306024086_Ten_questions_about_natural_ventilation_of_non-domestic_buildings>. Acesso em: 10. mar. 2017.

HUMPHREYS, M. A., Field studies of thermal comfort compared and applied. In: **Building Research Establishment Current Paper.** 75/76. Watfort. UK.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais Climatológicas do Brasil 161-1990.** Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em: abr. 2017.

INMETRO. INSTITUTO DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. ENCE- Etiqueta Nacional de Conservação de Energia. Selo Procel de Economia de Energia.

Condicionadores de ar Split - HI-HALL. Disponível em:
<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/condicionador_de_ar_split_hi_wall.pdf>.
Acesso em: 30 out. 2015.

_____. **Requisitos Técnicos da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos– RTQ-C.** Brasil, 2013.

_____. **O programa Brasileiro de Etiquetagem.** Disponível em:
<http://www2.inmetro.gov.br/pbe/conheca_o_programa.php>. Acesso: mar. 2017.

ISO. INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARD. **ISO 7730:** Moderate Thermal Environments — Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort. International Standardization Organization, Genebra, 1994.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 3 ed. Eletrobrás/Procel, Rio de Janeiro, 2014.

LIMEIRA, F. M. **Arquitetura e Integralidade em Saúde:** uma análise do sistema normativo para projetos de Estabelecimentos Assistenciais de Saúde. UnB: Brasília, 2006. 177 f. Dissertação (mestrado) - Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, DF, 2006. Disponível em: <<http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/cp026395.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2015.

MALHEIROS, F. V. A. **Desempenho térmico de pavilhões industriais: Estudo de caso em Panambi/RS.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2005.

MASCARÓ, Lúcia R. **Energia na Edificação – Estratégias para minimizar seu consumo.** São Paulo, Projeto, 1991.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 42 p.

MORI, F. K. **Análise da eficiência energética da envoltória de um projeto padrão de uma agência bancária em diferentes zonas bioclimáticas brasileiras.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

OLGYAY, V. **Design with climate.** New Jersey, USA. Princeton University Press, 1963.

OLGYAY, V. **Arquitetura y clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas.** 1 ed. Gustavo Gili, Barcelona, 1998.

OLIVEIRA, B. G. F. **Análise do desempenho energético de edificações: aplicação analítica do RTQ-C no edifício Ceamazon.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

PINTO JR, H. Q. (Org.). **Economia da Energia: Fundamentos Econômicos, Evolução Histórica e Organização Industrial.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

PROCEL INFO. CENTRO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. **Sobre o PROCEL.** Disponível em:
<<http://www.procel.gov.br/main.asp?Team=%7B505FF883-A273-4C47-A14E-0055586F97FC%7D>>. Acesso em: jan. 2017.

RIVERO, R. **Arquitetura e clima: condicionamento térmico natural**. 2ª ed. ver. amp. Porto Alegre: D.C. Luzzatto Editores, 1986. 240 p.

RUAS, Á. C. **Conforto térmico nos ambientes de trabalho**. Ministério do Trabalho: FUNDACENTRO – Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho, 1999. 94 p.

SAINT GOBAN. Eficiência Energética nas Novas Edificações do Grupo Saint Gobain. **In: 7 Expo GreenBuilding Brasil Conferência Internacional e Expo**. São Paulo, 9 a 11 de agosto, 2016.

SALOMÃO, T. M. **Eficiência Energética: Projetos luminotécnicos em plantas industriais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

SCGLIANO, S. e HOLLO, V. **Conforto térmico em edifícios comerciais e industriais em regiões de clima quente**. Ed. Pini. São Paulo, 2001.

SCHIAVON, S., HOYT, T., PICCIOLI, A. **Web application for thermal comfort visualization and calculation according to ASHRAE Standard 55**. Building Simulation An International Journal. v.7., p. 321-334. August, 2014.

SILVA, A. C. S. B. da. **Simulação de resfriamento evaporativo por microaspersão d'água**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

SILVA, R. B. **Ar condicionado**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Faculdade de Engenharia Industrial da PUCSP. v. 1. São Paulo: Departamento de Engenharia Mecânica, 1969.

SERRA, R. **Clima, lugar y arquitectura. Manual de Diseño Bioclimatico**. Edita: Secretaria General Técnica del CIEMAT, 1989.

SANTOS, M. B. G. dos.; AZEVEDO, L.G. de.; BARBOSA, A. A.; CARVALHO, F. de O. Diagnósticos Energéticos em Indústrias. – Estudo de Caso. In: XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Porto Alegre - RS, 2005. **Anais...** Porto Alegre: ABEPRO, 2005.

SOUZA, H. A. de; AMPARO, L. R.; GOMES, A. P. **Influência da inércia térmica do solo e da ventilação natural no desempenho térmico: um estudo de caso de um projeto residencial em *light steel framing***. Ambiente Construído, v.11, n.4, p.113-128. Porto Alegre, 2011. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/5473/1/ARTIGO_Influ%C3%A2nciaT%C3%A9rmica.pdf>. Acesso em: mar. 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Apostila Hiperlivro EtiquEEE. 4 ed. Florianópolis, 2014.

_____. Arquivos climáticos em formato TRY, SWERA, CSV e BIN. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-swera-csv-bin>>. Acesso em: mar. 2015.

WASTERLUND, D. S. **A Review of Heat Stress Research with Application to Forestry**. Applied Ergonomics. Elsevier Science Ltda. v. 29 nº3, p. 179- 183, 1998.

XAVIER, A. A. P. **Predição de conforto térmico em ambientes internos com atividades sedentárias. Teoria física aliada a estudos de campo.** Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2000.
