

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**APLICAÇÃO DO REGULAMENTO PARA
ETIQUETAGEM DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS: O CASO
DO CENTRO DE TECNOLOGIA DA UFSM**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Cibele Sangoi Klüsener

Santa Maria, RS, Brasil

2009

APLICAÇÃO DO REGULAMENTO PARA ETIQUETAGEM DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS: O CASO DO CENTRO DE TECNOLOGIA DA UFSM

por

Cibele Sangoi Klüsener

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil.**

Orientador: Prof. Dr. Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos

Santa Maria, RS, Brasil

2009

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil**

A comissão examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**APLICAÇÃO DO REGULAMENTO PARA ETIQUETAGEM
DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS:
O CASO DO CENTRO DE TECNOLOGIA DA UFSM**

elaborada por
Cibele Sangoi Klüsener

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

COMISSÃO EXAMINADORA:

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

Solange V. G. Goulart, P.h.D. (UFSC, SC)

Lizandra Garcia Lupi Vergara, Dra. (UFSM, RS)

Santa Maria, 26 de fevereiro de 2009.

*Dedico este trabalho ao meu orientador,
Joaquim, pela confiança e
aos meus pais, Nilo e Marlene.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Dr. Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos, por sua disponibilidade, tranqüilidade, dedicação, motivação na orientação deste trabalho e, especialmente, pela sabedoria compartilhada de maneira incondicional.

À instituição Universidade Federal de Santa Maria, responsável pela minha formação profissional em Arquitetura e Urbanismo e pela oportunidade de receber o grau de Mestre em Engenharia Civil.

Aos funcionários do Departamento de Estruturas do Centro e Tecnologia, em especial ao Sr. Gilberto Vargas pela colaboração incomparável ao levantamento de dados.

Aos professores e colegas do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UFSM, pelo apoio e companheirismo, tornando-se grandes amigos.

Aos profissionais da Prefeitura da UFSM, em destaque ao Sr. José Vicente Monteiro Correa, pelo compartilhamento das informações previamente existentes.

Às professoras Dr^a Solange V. G. Goulart e Dr^a Lizandra G. L. Vergara, que gentilmente aceitaram compor a comissão examinadora.

Às pesquisadoras do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – LabEEE, Dr^a Solange Goulart, Dr^a Joyce Correna Carlo e Arq. Greici Ramos pela disponibilidade em assessorar tecnicamente o desenvolvimento deste trabalho.

Aos acadêmicos Ariane Pacheco Meurer, Guilherme Trevisan dos Santos e Juglans Godoy, pela excepcional contribuição.

Aos colegas de trabalho do Grupo Hospitalar Conceição, pela atenção e assistência nos períodos de maior dificuldade.

A minha família, pela compreensão da ausência necessária.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para o resultado final deste trabalho, transmitindo energia e otimismo.

Agradeço de coração!

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria

APLICAÇÃO DO REGULAMENTO TÉCNICO DA QUALIDADE PARA ETIQUETAGEM DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS: O CASO DO CENTRO DE TECNOLOGIA DA UFSM

AUTORA: CIBELE SANGOI KLÜSENER

ORIENTADOR: JOAQUIM CESAR PIZZUTTI DOS SANTOS

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 26 de fevereiro de 2009.

O Regulamento Técnico da Qualidade para Etiquetagem do Nível de Eficiência Energética de Edifícios tem por objetivo especificar os requisitos técnicos e os métodos para a classificação de edifícios comerciais, de serviços e públicos quanto à eficiência energética. Este trabalho busca avaliar a aplicabilidade do Regulamento sob o ponto de vista da prática arquitetônica e analisar a influência das variáveis que determinam a classificação do edifício do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria – RS. A classificação parcial quanto aos três requisitos principais estabelecidos pela normativa, Envoltória, Sistema de Iluminação e Sistema de Condicionamento de Ar e a classificação geral do nível de eficiência da edificação foram determinadas pelo atendimento a pré-requisitos, gerais e específicos, e pela aplicação do método prescritivo. A criação de cenários hipotéticos permitiu destacar a influência das variáveis que determinam o nível de eficiência energética do edifício. A relevância da metodologia para sua incorporação como ferramenta de projeto permite destacar que a aplicação do Regulamento pode contribuir para a definição de soluções energeticamente eficientes, bem como incentivar a construção e avaliação de edifícios que apresentem níveis de eficiência elevados ou progressivos.

Palavras-chave: regulamento, etiquetagem, eficiência energética

ABSTRACT

Master's Thesis
Civil Engineering Postgraduation Program
Santa Maria's Federal University, RS, Brazil

APPLICATION OF TECHNICAL REGULATIONS FOR LABELING QUALITY LEVEL OF ENERGY EFFICIENCY IN BUILDINGS: THE CASE OF THE CENTER FOR TECHNOLOGY - UFSM

AUTHOR: CIBELE SANGOI KLÜSENER

THESIS ADVISOR: JOAQUIM CESAR PIZZUTTI DOS SANTOS

Date and Place of Presentation: Santa Maria, February 26th, 2009.

The Technical Regulation for Labeling Quality Level of Energy Efficiency of Buildings aims to specify the technical requirements and methods for the classification of commercial buildings, and public services on energy efficiency. This paper evaluate the applicability of the Regulation from the point of view of architectural practice and examine the influence of variables that determine the classification of the building of the Center for Technology, Federal University of Santa Maria - RS. A partial classification as the three main requirements set by regulations, Envelopment, Lighting System and Air-conditioning System and the general classification of the level of efficiency of the building were determined by the pre-service requirements, general and specific, and the application of the method prescriptive. The creation of hypothetical scenarios has highlighted the influence of variables that determine the level of energy efficiency building. The relevance of the methodology for its incorporation as a tool to highlight that the project supports implementation of the Regulation can contribute to energy efficient solutions, and encourage the construction and evaluation of buildings that have high levels of efficiency or progressive.

Keywords: energy efficiency; assessment; architectural practice

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Evolução dos consumos setoriais do Brasil de 1970 a 2005	34
Figura 2.2	Zoneamento Bioclimático Brasileiro	36
Figura 2.3	Carta bioclimática adaptada para o Brasil.....	36
Figura 3.1	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia - ENCE	43
Figura 4.1	Vistas aéreas do Campus da UFSM e o conjunto edificado	53
Figura 4.2	Cidade situada na região da Depressão Central.	54
Figura 4.3	Fotos panorâmicas da cidade	54
Figura 4.4	Região de influência da cidade de Santa Maria-RS.....	55
Figura 4.5	Clima temperado mesotérmico brando super úmido - sem seca	55
Figura 4.6	Bairro Camobi em relação ao centro da cidade	56
Figura 4.7	Localização do edifício no Campus da UFSM	57
Figura 4.8	Levantamento fotográfico das fachadas da edificação	57
Figura 4.9	Levantamento físico do edifício – plantas baixas	58
Figura 4.10	Levantamento físico do edifício – cortes e fachadas.	59
Figura 4.11	Proteções solares nas fachadas oeste e leste, respectivamente.....	59
Figura 5.1	Características construtivas das paredes externas.....	60
Figura 5.2	Cortes do edifício mostrando a configuração da cobertura.....	61
Figura 5.3	Áreas condicionadas e não condicionadas sob a cobertura	62
Figura 5.4	Diferentes tipos de acabamento das áreas das fachadas.....	63
Figura 5.5	Planta da cobertura e aspecto da telha de fibrocimento	63
Figura 5.6	Percentual de Abertura na Fachada Total (PAFT).....	66
Figura 5.7	Fator Solar das aberturas nas diferentes fachadas (FS).....	66
Figura 5.8	Ângulo Horizontal de Sombreamento das aberturas (AHS).....	67
Figura 5.9	Ângulo Vertical de Sombreamento das aberturas (AVS)	67
Figura 5.10	Controle paralelo das luminárias em relação às aberturas	69

Figura 5.11	Sistema de controle existente na edificação perpendicular às aberturas	69
Figura 5.12	Níveis de iluminância por ambiente em cada pavimento	71
Figura 5.13	Áreas condicionadas e não condicionadas	73
Figura 5.14	Nível de eficiência dos equipamentos por ambiente	74
Figura 5.15	Áreas não condicionadas em cada pavimento – APT e ANC	77
Figura 6.1	Ambientes com equivalentes numéricos do sistema de iluminação alterados	84
Figura 6.2	Níveis de eficiência dos ambientes não atendendo ao pré-requisito sombreamento	88
Figura 6.3	Variação sobre a pontuação total do edifício para os cenários de análise segundo a condição de não atendimento ao pré-requisito sombreamento	95
Figura 6.4	Variação sobre a pontuação total do edifício para os cenários de análise segundo a condição de atendimento ao pré-requisito sombreamento	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1	Características das composições das paredes externas	61
Tabela 5.2	Acabamento e Absortância Solar das áreas das fachadas.....	62
Tabela 5.3	Resultado dos parâmetros para o cálculo do IC_{env}	65
Tabela 5.4	Parâmetros do $IC_{máxD}$	67
Tabela 5.5	Parâmetros do $IC_{mín}$	67
Tabela 5.6	Limites dos intervalos dos níveis de eficiência.....	68
Tabela 5.7	Resultado dos valores limites para cada nível de eficiência	68
Tabela 5.8	Equivalente numérico para cada nível de eficiência (EqNum)	68
Tabela 5.9	Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação.. (DPI_{RL}) para o nível de eficiência pretendido.	72
Tabela 5.10	Equivalente numérico do sistema de iluminação	72
Tabela 5.11	Equivalentes numéricos para ventilação natural.....	76
Tabela 5.12	Resultado das variáveis da equação da classificação geral	77
Tabela 5.13	Classificação Geral	78
Tabela 6.1	Classificações parciais e final dos níveis de eficiência	79
Tabela 6.2	Valores de Fator Solar das aberturas da edificação	80
Tabela 6.3	Variação do Fator Solar para as aberturas com $FS=0,87$ e o impacto sobre o IC_{env}	80
Tabela 6.4	Condições de atendimento aos pré-requisitos específicos da Envoltória.	81
Tabela 6.5	Relação da variação dos valores de EqNumV sobre o nível de eficiência do Sistema de Iluminação	84
Tabela 6.6	Condições de atendimento aos pré-requisitos específicos do Sistema de Iluminação.....	85

Tabela 6.7	Relação da variação dos valores de EqNumCA sobre o nível de Eficiência do Sistema de Condicionamento de Ar	87
Tabela 6.8	Condições de atendimento aos pré-requisitos específicos do Sistema de Condicionamento de Ar	88
Tabela 6.9	Cenário real com variação do EqNumV e condição de não atendimento ao pré-requisito Sombreamento (PRs)	90
Tabela 6.10	Cenário real com variação do EqNumV e condição de atendimento ao pré-requisito Sombreamento (PRs).....	91
Tabela 6.11	Cenários de análise não atendendo ao PRs	92
Tabela 6.12	Cenários de análise atendendo ao PRs.....	93
Tabela 6.13	Níveis de eficiência segundo os cenários de análise para a condição de não atendimento ao PRs	94
Tabela 6.14	Níveis de eficiência segundo os cenários de análise para a condição de atendimento ao PRs	94
Tabela 6.15	Cenário para condicionamento artificial total da edificação, não atendendo ao pré-requisito sombreamento	97
Tabela 6.16	Cenário para condicionamento artificial total da edificação, atendendo ao pré-requisito sombreamento	98

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A	Planilha dos ambientes para o sistema de iluminação	114
Apêndice B	Planilha dos ambientes condicionados artificialmente.....	119

SUMÁRIO

RESUMO	06
ABSTRACT	07
LISTA DE FIGURAS	08
LISTA DE TABELAS	10
LISTA DE APÊNDICES	12
1. INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivos	18
1.1.1 Objetivo geral	18
1.1.2 Objetivos específicos.....	19
1.2 Estrutura do trabalho	19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 Métodos e sistemas de classificação e avaliação de edifícios	20
2.1.1 Avaliação de edificações em âmbito mundial.....	24
2.1.2 Avaliação de edificações no Brasil	29
2.2 Eficiência energética nas edificações	33
2.2.1 Bioclimatologia	35
2.2.2 A influência da envoltória e as cargas térmicas do edifício	37
2.2.3 Sistema de iluminação eficiente	38
2.2.4 Aparelhos eficientes e o sistema de condicionamento de ar	40
3. METODOLOGIA	42
3.1 Envoltória	44
3.1.1 Transmitância térmica das paredes externas e da cobertura.....	44
3.1.2 Cor e absorvância solar das paredes externas e da cobertura	45
3.1.3 Determinação do nível de eficiência da Envoltória.....	45

3.2. Sistema de Iluminação	47
3.2.1 Divisão dos circuitos	47
3.2.2 Contribuição da luz natural	47
3.2.3 Desligamento automático	48
3.2.4 Determinação do nível de eficiência do Sistema de Iluminação	48
3.4 Sistema de Condicionamento de Ar	49
3.4.1 Determinação do nível de eficiência do Sistema de Condicionamento de Ar	50
3.5 Classificação geral do nível de eficiência da edificação	50
3.5.1 Bonificações	51
3.5.2 Pré-requisitos gerais.....	52
3.5.3 Pré-requisitos específicos	52
3.6 Análise da aplicabilidade do Regulamento sob o ponto de vista da prática arquitetônica	52
4. OBJETO DE ESTUDO	53
4.1 Caracterização do município e da área de estudo	54
4.2 Descrição e caracterização da edificação	57
5. RESULTADOS	60
5.1 Classificação parcial do requisito Envoltória	60
5.1.1 Transmitância térmica das paredes externas	60
5.1.2 Transmitância térmica da cobertura	61
5.1.3 Cor e absorvância solar das paredes externas	62
5.1.4 Cor e absorvância solar da cobertura	63
5.1.5 Nível de eficiência da Envoltória	64
5.2 Classificação parcial do requisito Sistema de Iluminação	69
5.2.1 Divisão dos circuitos	69
5.2.2 Contribuição da luz natural	69
5.2.3 Desligamento automático	70
5.2.4 Determinação do nível de eficiência do Sistema de Iluminação	70
5.3 Classificação parcial do requisito Sistema de Condicionamento de Ar	73
5.3.1 Pré-requisitos sombreamento e ventilação permanente	73
5.3.2 Determinação do nível de eficiência do Sistema de Condicionamento de Ar	74
5.4 Classificação geral do nível de eficiência da edificação	75
5.4.1 Bonificações	75
5.4.2 Pré-requisitos gerais.....	75

5.4.3 Pré-requisitos específicos	75
5.4.4 Pontuação final.....	75
6. ANÁLISE DE RESULTADOS	79
6.1 Cenários de análise e condições de aplicação do requisito Envoltória.....	80
6.1.1 Atendimento aos pré-requisitos da Envoltória	81
6.1.2 Condições de aplicação do Regulamento para o requisito Envoltória.....	82
6.2 Cenários de análise e condições de aplicação do requisito Sistema de Iluminação	83
6.2.1 Atendimento aos pré-requisitos do Sistema de Iluminação.....	85
6.2.2 Condições de aplicação do Regulamento para o requisito Sistema de Iluminação	86
6.3 Cenários de análise e condições de aplicação do Regulamento para o requisito Sistema de Condicionamento de Ar	87
6.3.1 Atendimento aos pré-requisitos do Sistema de Condicionamento de Ar.....	88
6.3.2 Condições de aplicação do Regulamento para requisito Sistema de Condicionamento de Ar	89
6.4 Cenários de análise e avaliação da aplicabilidade da determinação do nível de eficiência da edificação	89
6.4.1 Atendimento aos pré-requisitos e bonificações	99
6.4.2 Condições de aplicação do procedimento de classificação geral do edifício	100
7. CONCLUSÕES	101
7.1. Requisito Envoltória.....	101
7.2. Requisito Sistema de Iluminação.....	101
7.3. Requisito Sistema de Condicionamento de Ar.....	102
7.4. Aplicabilidade do Regulamento Técnico sob o ponto de vista da prática arquitetônica	102
7.5. Recomendações para trabalhos futuros	104
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
APÊNDICES.....	114

1 INTRODUÇÃO

As iniciativas relacionadas à redução do consumo de energia e aos métodos para sua avaliação foram impulsionadas pela crise do petróleo ainda na década de 70, inserindo a dimensão ambiental na base das preocupações mundiais. Esse processo desencadeou um plano de ação global, visando o equilíbrio entre as necessidades econômicas, sociais e os recursos naturais. A indústria da construção participa ativamente nesse processo ao ser responsável por 40% do consumo de energia mundial.

No Brasil, especificamente para edificações de uso público, o Balanço Energético Nacional (BEN, 2007) estima um consumo de 11,2 TWh/ano, associado principalmente aos sistemas de condicionamento de ar e iluminação. O perfil de consumo dos principais agentes consumidores configura-se da seguinte forma:

- Sistema de ar condicionado = 48%
- Sistema de iluminação = 24%
- Equipamentos de escritório = 15%
- Elevadores e bombas = 13%

A partir deste cenário foi instituído em 1997 o Programa Eficiência Energética nos Prédios Públicos - Procel EPP, visando promover a eficiência em edifícios públicos em nível federal, estadual e municipal.

Os esforços do Programa estão concentrados na implementação de medidas de eficiência energética e na difusão da informação para os agentes envolvidos com a administração pública, apresentando as seguintes metas: colaborar para redução dos gastos com consumo de energia elétrica nos prédios públicos; implementar projetos de demonstração, disseminando técnicas e metodologias para reaplicação destes projetos; e contribuir para a qualidade de vida e bem-estar dos funcionários/usuários por meio da eficiência energética.

Ainda, nesse mesmo panorama, com o intuito de instituir efetivamente legislações para promover a eficiência energética e como consequência da crise de

energia de 2001 no país, a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia determina que o Poder Executivo seja responsável pelo desenvolvimento de mecanismos que promovam a eficiência energética nas edificações. Um núcleo especialmente voltado à Eficiência Energética das Edificações – EEE, o Procel Edifica, foi criado para implementar um Plano de Ação com vistas à divulgação e ao estímulo para aplicação dos conceitos de eficiência energética em edificações, bem como fornecer subsídios à Regulamentação da Lei de Eficiência Energética. A partir dessa perspectiva, no ano de 2006, foi proposta a Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos.

O potencial de economia de energia a partir de normas e códigos que visam à eficiência energética é estimado em um percentual de 12%, para o período compreendido entre 2000 e 2020 (Duffie, 1996 apud Leduc, 2008). Especificamente relacionado à capacidade de redução no consumo dos sistemas que compõem um edifício, o sistema de iluminação representa 30%, o sistema de condicionamento de ar entre 10 e 12% e a envoltória na ordem de 10%. (LEDUC, 2008).

De acordo com o Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica (MME, 2006), considerando o período de 2005-2015, “o consumo de energia elétrica em 2015 poderá atingir 617,7 TWh, projetando uma taxa média de crescimento de 5,2% ao ano”. A partir deste panorama, o Relatório Anual 2006 (ANEEL, 2007) estima que projetos direcionados à redução do desperdício no consumo de energia elétrica possibilitarão uma economia de energia de 176 mil megawatts/hora/ano (MWh/ano), com redução da demanda de 208 MW no horário de ponta. Dados reais de avaliação da aplicação de programas de eficiência energética, no período de 1998 a 2007, demonstram o potencial de economia anual de energia, com um valor de 5.311 gigawatts-hora (GWh), equivalente ao consumo de toda a região Norte por um ano. Em termos financeiros, Geller (1994) estima que, para muitas alternativas de aumento de eficiência no consumo, a economia de 1kWh custe, em investimentos, cerca de US\$ 0,024, contra um custo de fornecimento em baixa tensão de US\$ 0,100 para este mesmo kWh. Estes dados presumem a viabilidade de investimentos que tenham como objetivo a efficientização do consumo de energia.

No processo de desenvolvimento mundial, os padrões de produção de energia, sua distribuição e seu uso são cruciais para melhoramentos contínuos na qualidade

de vida. O foco nas áreas relativas à energia e meio ambiente é fundamental e a busca de eficiência energética consolida-se como uma fonte de energia.

A partir desse panorama é possível destacar a importância do desenvolvimento, aplicação e avaliação de medidas que visam minimizar o consumo de energia em edificações. A aplicação de um método brasileiro, desenvolvido considerando peculiaridades regionais e locais, permite contribuir para a implementação e apropriação de uma metodologia que atende às necessidades de redução no consumo de energia e do seu uso eficiente. Os edifícios públicos desempenham papel fundamental para a apropriação e divulgação dessas medidas, na medida em que atingem um público diversificado e amplo. A concretização e viabilização de estratégias de eficiência energética nessas edificações expõem os resultados reais ao usuário.

O edifício do Centro de Tecnologia do Campus da Universidade Federal de Santa Maria – RS está inserido nesse contexto em virtude de seu caráter institucional e público. Ao abrigar atividades de ensino da área tecnológica assume especial responsabilidade, tanto relacionada à formação técnica e profissional como pela sua representatividade perante a comunidade.

A aplicação do Regulamento Técnico para Etiquetagem do Nível de Eficiência Energética em um edifício existente e de caráter público apresenta significativa importância, proporcionando condições para a regulação futura do consumo de energia e uma análise da sua aplicabilidade.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a aplicabilidade do Regulamento Técnico da Qualidade para Etiquetagem do Nível de Eficiência Energética de Edifícios para sua utilização do ponto de vista da prática arquitetônica, a partir da classificação do edifício do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria.

1.1.2 Objetivos específicos

- Classificar o nível de eficiência energética da edificação objeto deste estudo segundo o Regulamento Técnico da Qualidade (RTQ) para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos;
- Analisar as condições de aplicação dos métodos para a classificação do nível de eficiência energética referente aos requisitos envoltória, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar;
- Salientar a influência das variáveis dos requisitos para a classificação final do edifício, tomando por base a elaboração de cenários de análise.

1.2 Estrutura do trabalho

Este trabalho apresenta-se dividido em sete capítulos.

O primeiro capítulo é destinado às considerações iniciais e introdutórias sobre o assunto a que se refere esta dissertação.

O segundo capítulo consiste na revisão da literatura, com uma abordagem de conceitos relacionados aos métodos de avaliação e classificação de edifícios e à eficiência energética em edificações.

No terceiro capítulo descreve-se a metodologia utilizada na pesquisa, bem como os procedimentos técnicos de levantamento de dados e de estudo de caso.

No quarto capítulo apresenta-se o objeto de estudo com a caracterização climática do município de Santa Maria e a descrição da edificação destinada ao Centro de Tecnologia.

No quinto capítulo são relatados os resultados quanto à classificação e determinação da eficiência energética segundo os requisitos do regulamento.

No sexto capítulo os resultados obtidos são interpretados a partir de cenários de análise que buscam avaliar as variáveis de cada requisito e são expostas discussões relacionadas às condições de aplicação dos requisitos.

No último capítulo são apresentadas as principais conclusões, bem como indicadas as recomendações para futuros estudos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Métodos e sistemas de classificação e avaliação de edifícios

Silva (2003) considera que a necessidade de reduzir os impactos sociais e ambientais causados pela construção civil e de identificar o desempenho real de um edifício estão diretamente relacionadas ao desenvolvimento e à implementação de métodos e sistemas de classificação e avaliação de edificações. Uma classificação atrelada a um sistema de certificação é consensual quanto a representar um dos métodos mais eficientes para incentivar o aumento do nível de desempenho ambiental dos edifícios. A determinação de níveis mínimos aceitáveis depende, portanto, de alterações das demandas do mercado, voluntárias ou normativas, e do acesso a métodos relativamente simples por parte dos usuários e agentes envolvidos no processo. (NRCanMET, 1998 apud Silva, 2003).

As primeiras metodologias de avaliação, considerando o cumprimento de metas ambientais a partir das estratégias definidas na *Earth Summit* do Rio de Janeiro (ECO'92), surgem em contextos e aplicações muito diversificados, abrangendo desde simples ferramentas de apoio a projeto até avaliações pós-ocupacionais. A maioria delas, desenvolvidas para a avaliação do desempenho ambiental de edificações novas ou ainda em fase de projeto, não distingue o desempenho real do edifício em operação do seu desempenho potencial, baseado nas propriedades que são inerentes a sua configuração. Este fato está diretamente relacionado à aceleração do desenvolvimento econômico e destruição local e global dos elementos naturais ocorridos nestes países. (ZIMMERMANN et al., 2002 apud Silva, 2003).

Em seu estudo sobre a avaliação da sustentabilidade de edifícios Silva (2003) identifica que as principais aplicações dos métodos de avaliação ambiental para a construção civil são: instrumento para divulgação mercadológica; suporte à introdução de sistemas de gestão ambiental; especificação do desempenho ambiental de edifícios; auxílio ao projeto; estabelecimento de normas de desempenho ambiental; e auditorias ambientais. Já, a qualidade de um método é

determinada por quatro princípios essenciais: ser tecnicamente consistente, adaptado a dados nacionais relevantes; ser viável praticamente, adaptado ao mercado, às práticas de construção e às tradições locais; ser absorvido e difundir-se rapidamente, desenvolvido em parceria com as principais partes interessadas; e ser apropriado ao contexto nacional, com itens ponderados para refletir prioridades e interesses nacionais.

A autora diferencia os sistemas de avaliação de edificações pelo seu objetivo inicial ou pelo método de classificação adotado. Considera que, apesar de serem constituídas sobre uma base comum, as metodologias são naturalmente diferentes, pois consideram os níveis de pressão sobre as agendas ambientais, as especificidades das práticas construtivas e de projeto e a receptividade dos mercados à introdução dos métodos.

Quanto aos objetivos aparecem, de um lado, aqueles sistemas criados para promover a construção sustentável através de mecanismos de mercado que, com uma formatação simples e seguindo uma lista de verificação, são vinculados a algum tipo de certificação de desempenho para divulgação mercadológica; e, de outro lado, os métodos orientados para pesquisa, de caráter científico e metodológico, são baseados em uma estrutura mais complexa.

Quanto aos métodos, a classificação depende do tipo de informação fornecida: por análise estatística, com valores referenciais para uma população de edifícios similares; por um sistema de pontos, com padrões e guias de projeto que medem a eficiência e o caráter ambiental do edifício, sem comparação com outras edificações; por um sistema de hierarquia e medida de uso-final, gerando padrões de referência que consideram o uso de energia com o clima e com requerimentos funcionais; ou por um modelo de simulação, que calcula a referência a partir de um modelo idealizado de desempenho.

A avaliação de uma edificação está relacionada diretamente ao tipo de critério adotado para identificar o seu nível de desempenho. O ideal de uma metodologia deve priorizar critérios de desempenho em relação a critérios prescritivos, definindo a necessidade de acúmulo de dados para estabelecer os desempenhos de referência, os chamados *benchmarks*. Ainda não existe consenso sobre um conjunto de indicadores mais apropriados, pois os valores referenciais estão atrelados a contextos específicos e são obtidos de forma experimental. A definição de uma pontuação mínima, de um desempenho de referência ou de uma meta de

desempenho pode ser determinada pelo estabelecimento de valores iniciais empíricos e consensuais e pela construção de padrões com uma base de dados confiáveis e estatisticamente representativos.

Os métodos que adotam critérios de ponderação podem aplicar pesos diferenciados para indicar maior ou menor importância relativa de cada categoria avaliada, seja para chegar a uma série de indicadores ou a um número único, denominado indicador de desempenho global. No entanto, atribuir ponderações requer uma decisão consensual, ainda incipiente, sobre o nível de impacto de cada categoria.

Em relação ao resultado final do desempenho do edifício, este pode estar representado: por um indicador único; por um perfil de desempenho ou uma combinação destes; por um número de pontos em relação a um total; ou por uma demonstração de forma absoluta ou relativa, posicionando o edifício em relação a um desempenho típico do mercado. Diante dessa complexidade, a maioria das metodologias trabalha com as listas de verificação (*checklists*), concedendo créditos em função da aplicação de determinadas estratégias de projeto ou especificação de determinados equipamentos. (SILVA, 2003).

Segundo Goulart (2005a) o estabelecimento de um código requer um planejamento que considere a necessidade de conscientização e treinamento dos agentes envolvidos no processo, a coerência entre as especificações propostas e aquelas realmente disponíveis e um tempo de adaptação para a incorporação dos preceitos estabelecidos pelo instrumento. Deringer, 2001 apud Goulart (2005a), descreve os termos código, normas e diretrizes, definindo que ambos representam um conjunto de requerimentos, atrelados a padrões de conformidade. A diferença relaciona-se ao caráter de seu cumprimento, obrigatório para um código e voluntário para normas e diretrizes. Goulart (2005a) complementa as definições incluindo o conceito de regulamento técnico como:

“requisitos técnicos obrigatórios de produtos, serviços ou processos, estabelecendo ainda os procedimentos para avaliação da conformidade, como certificação; visa garantir a saúde e segurança da população envolvida, a proteção do consumidor e do meio ambiente e pode atuar no mercado a fim de assegurar a concorrência justa; são adotados pelo poder público com competência para atuar nas respectivas áreas definidas por lei para o município, estado ou federação (...).”

Quanto aos principais mecanismos de avaliação existentes, o Sistema Brasileiro de Avaliação da Conformidade (SBAC) descreve: o ensaio, que consiste na determinação de uma ou mais características de uma amostra de produto, processo ou serviço, obedecendo a um procedimento específico; a etiquetagem, que a partir de ensaios determina e informa ao consumidor uma característica, especialmente relacionada ao seu desempenho; a certificação, compulsória ou voluntária, que mediante uma organização independente e acreditada atesta um produto, processo, sistema ou pessoa; a inspeção; e a declaração de conformidade pelo fornecedor. (INMETRO, 2007).

Santos e Souza (2008) descrevem que as normas ou códigos especificamente de edificações possuem características próprias, porém são identificadas semelhanças em aspectos como as características do envelope do edifício, do sistema de iluminação artificial e do sistema de condicionamento de ar, que geralmente estão vinculados a um zoneamento climático específico. As diferenças surgem em sua aplicabilidade e na sua forma de adesão: edificações residenciais ou não-residenciais, novas, reformadas, ampliadas ou mesmo na retroalimentação de edifícios existentes, sistemas e equipamentos ou mesmo vinculadas a padrões métricos ou de consumo; de forma voluntária, com ou sem incentivos, ou obrigatória, normalmente exigida após um tempo de adaptação e reconhecimento.

Bragança (2008) sintetiza que o objetivo das metodologias de avaliação consiste em especificar um determinado nível a ser atingido sob diferentes aspectos, em escala global ou regional. A avaliação pode estar relacionada ao empreendimento como um todo, ao edifício propriamente dito ou a partes dele - zonas, elementos ou materiais. Os tipos de métodos de avaliação que o autor descreve são: simulação do consumo de energia; *Life Cycle Assessment* (LCA) para materiais de construção; ferramentas de suporte à concepção de edifícios sustentáveis; sistemas de apoio e/ou reconhecimento do desempenho ambiental e funcional de edifícios e de empreendimentos de construção; e sistemas de apoio e reconhecimento da construção sustentável. Silva (2003) aponta que a *Life Cycle Assessment* (LCA) representa a metodologia internacionalmente mais aceitável para avaliação e comparação de alternativas, baseando-se em impactos ambientais e enfatizando a energia incorporada aos materiais e o volume de resíduos gerados nas atividades de construção e demolição de edifícios. No entanto, a maior parte dos sistemas existentes – especialmente aqueles que atribuem pontos ou créditos com

base em critérios, não utiliza a LCA como ferramenta de apoio à atribuição de créditos ambientais. Esta deficiência decorre das dificuldades práticas de aquisição e manipulação de dados e ao fato de aspectos importantes do desempenho de edifícios ficarem fora de seu alcance.

2.1.1 Avaliação de edificações em âmbito mundial

A crise do petróleo na década de 70 alertou o mundo de que as reservas energéticas são limitadas e que o desenvolvimento de uma política de conservação e de uso eficiente dessas fontes tornara-se inevitável. A partir deste cenário, agravado pelo aumento de consumo dos sistemas de aquecimento e de resfriamento, face à difusão do Estilo Internacional¹ e ao aumento das temperaturas médias globais, surgem as primeiras iniciativas quanto ao desenvolvimento de políticas de caráter científico ou mercadológico, buscando, portanto, regulamentar o uso de energia e estabelecer parâmetros para as edificações. (BERALDO, 2006)

Janda e Busch (1992, apud Barbosa, 1997) descrevem um panorama da situação mundial em normalização de energia para edifícios, apontando que a maioria dos métodos, desenvolvidos principalmente para a conservação de energia e aplicados ainda na fase de construção, adota uma combinação de critérios prescritivos e de desempenho para a envoltória da edificação - fechamentos externos horizontais e verticais, e para os sistemas mecânicos e de iluminação. Neto (2003) completa que para disciplinar o comportamento energético das edificações, bem como aprimorar suas condições de conforto, são estabelecidas zonas climáticas com características comuns, abordando as peculiaridades de cada região e influenciando a adoção de determinados critérios. As normas da *American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers* (ASHRAE) são consideradas referência para o desenvolvimento desses instrumentos.

¹ Estilo Internacional: caracterização da produção arquitetônica nas décadas de 1920 a 1930, apresenta como paradigma soluções indiferentes ao local e ao clima do sítio de implantação da edificação; os seus princípios básicos consideram o ornamento como crime, a verdade dos materiais, as formas cúbicas em plantas retangulares e fachadas com ângulos retos. A arquitetura do alemão Mies Van der Rohe, definida por simples estruturas de aço aparentes e vidros que delimitam espaços austeros, mas amplos e elegantes. (FERRAZ, 2008)

Considerando o objetivo deste trabalho, aplicar um regulamento em termos de eficiência energética a um edifício de caráter não-residencial, apresenta-se uma breve análise dos principais instrumentos em âmbito mundial.

— Reino Unido

BREEAM - Building Research Establishment Environmental Assessment Method: baseado em critérios e *benchmarks*, apresenta categorias de avaliação que estabelecem requisitos para a obtenção de créditos ambientais ponderados, visando a determinação de um índice de desempenho ambiental (*Environmental Performance Index -EPI*), que habilita a edificação à certificação em uma classe de desempenho e permite uma comparação entre edifícios certificados pelo mesmo sistema. Envolve análises referente a projeto, execução, operação e gestão.

Approved Documents - determina o desempenho de um edifício energeticamente eficiente através de requisitos relativos à envoltória do edifício, aos sistemas de aquecimento dos espaços e de água e os sistemas de controle de iluminação, incluindo provisões prescritivas adicionais. A *Part L1 – Conservation of Fuel and Power in Dwellings* especifica os métodos para demonstrar a perda de calor através da envoltória do edifício e a *Part L2 - Conservation of Fuel and Power in Buildings other than Dwellings*, aponta os métodos de cálculo de desempenho.

— iiSBE - *International Initiative for a Sustainable Built Environment*

GBC - Green Building Challenge - protocolo de avaliação de desempenho ambiental de edifícios desenvolvido a partir de um consórcio internacional para prover uma base metodológica desvinculada de um sistema de certificação e que possa refletir diferentes prioridades, tecnologias, tradições construtivas e valores culturais. Através de uma ponderação personalizável e de uma pontuação atribuída segundo uma escala de graduação de desempenho, os resultados são gerados em um gráfico de desempenho global e comparados a desempenhos de referência. A pontuação total é obtida segundo quatro níveis: subcritérios, critérios, categorias e áreas de desempenho e temas principais, visando acomodar critérios qualitativos e quantitativos.

— Estados Unidos

ASHRAE - *Standard 90.1 – Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*: norma de eficiência energética, inicialmente baseada no *Overall Thermal Transmittance Value* (OTTV), um índice de avaliação da transmissão de calor através da envoltória da edificação. Após algumas revisões passou a utilizar normas prescritivas, sistema de compensações, ferramenta para auxiliar no cálculo de consumo de energia e uma classificação climática, relacionando cada clima a uma tabela com prescrições limites. Os objetivos da norma são: estabelecer as exigências mínimas para eficiência energética de projetos para novas edificações, ou seja, como deve ser construído e qual a forma de uso e manutenção, visando minimizar o uso de energia sem limitar a função do edifício nem o conforto e a produtividade de seus ocupantes; e providenciar critérios para projetos de eficiência energética e métodos para determinar a conformidade com estes critérios. Aborda, portanto, temas relativos à envoltória da edificação, sistemas de ar condicionado, iluminação artificial e aquecimento de água incluindo ainda motores e equipamentos; classifica os climas através do cálculo dos graus-dia para resfriamento e aquecimento, relacionando a uma tabela com prescrições limites para componentes opacos e transparentes.

LEED - *Leadership in Energy and Environmental Design*: sistema voluntário para determinar o desempenho do edifício e atender metas de sustentabilidade. Desenvolvido pelos membros do *United States Green Building Council* (USGBC) sua estrutura de avaliação está dividida em categorias que contém um número de pontos específicos. O cumprimento de pré-requisitos é fundamental para o edifício ser elegível à classificação de desempenho. O sistema não aplica critérios explícitos de ponderação entre categorias e classifica o desempenho do edifício em quatro níveis que, segundo o total de pontos obtidos em cada categoria, determinam a certificação atingida pelo edifício.

— União Européia

O *Comité Européen Normalisation* (CEN) está desenvolvendo em torno de 30 normas que serão utilizadas para medir o desempenho energético de edifícios de acordo com uma metodologia integrada, considerando condições gerais de clima interno, particularidades locais e uso e a idade do edifício. Edificações que adotem sistemas alternativos serão submetidas a um estudo de viabilidade técnica,

ambiental e econômica. As novas diretrizes levarão em conta, entre outras medidas, prescrições para cargas de aquecimento e refrigeração, incluindo uma Certificação Energética obrigatória, a partir de selos de desempenho. Especificamente para edificações públicas determinar-se-á a publicidade do certificado, da gama de temperaturas internas recomendadas e de outras variáveis climáticas relevantes.

Algumas normas que estão em processo de revisão são descritas abaixo.

EN ISO 13790: “*Thermal Performance of Buildings – calculation of energy use for space heating and cooling*”: métodos de cálculo para avaliação: do uso anual de energia para aquecimento e refrigeração de um edifício, considerando a transferência de calor por transmissão e ventilação, quando aquecido ou resfriado a uma temperatura interna constante; da contribuição de fontes de calor interna e solar para o balanço térmico do edifício; da necessidade de energia anual para aquecimento e resfriamento; da energia anual requerida pelo sistema de aquecimento e refrigeração do edifício; e da energia adicional anual requerida pelo sistema de ventilação. Apresenta métodos alternativos para o cálculo da necessidade de refrigeração: método padrão mensal, método sazonal simples e procedimento para simulação horária anual.

EN ISO 15203 - *Energy Performance of Buildings – assessment of energy use and definition of ratings*: usos de energia que devem ser levados em conta para definir as classificações (*ratings*) de desempenho para novos edifícios e edifícios existentes, abrangendo aquecimento, refrigeração, sistema de ventilação, água quente e iluminação. Dois métodos são propostos para definir a energia usada pelas edificações: através do cálculo (*asset rating*) da energia usada pelo edifício, com dados de entrada relacionados ao clima e ocupação padrões, bem como fornecendo uma medida da eficiência sob condições padronizadas, que permite uma comparação dentro das principais regiões climáticas e para edifícios com atividades idênticas ou pelo menos similares; e pela medição (*operational rating*) do uso de energia, incluindo todos os desvios entre propriedades teóricas e propriedades reais, e considerando a manutenção e operação do edifício.

EN ISO 15217 – *Energy Performance of Buildings – methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings*: estabelece requisitos de desempenho global ou específicos, considerando aspectos relativos à energia para aquecimento, refrigeração e iluminação, às características do edifício ou de um equipamento, às características da envoltória e aos componentes dos sistemas.

Define procedimentos que estabelecem valores de referência e *benchmarks*; maneiras de projetar esquemas de certificação de energia (de acordo com o tipo ou parte do edifício, tipo de aplicação ou conteúdo do certificado); e indicadores globais para expressar o desempenho de energia do edifício como um todo. Um indicador de desempenho energético é representado por um indicador global, que resulta da soma ponderada da energia fornecida pela concessionária e da energia dos equipamentos utilizados para produzir trabalho mecânico ou calor.

— Portugal

Programa E4 - Eficiência Energética e Energias Endógenas: em substituição ao P3E (Programa para a Eficiência Energética em Edifícios) estabelece medidas que condicionam a estrutura de consumo de energia dos edifícios e de seus sistemas, a partir da utilização racional de energia e da melhoria da envolvente -aquecimento, resfriamento e ventilação. O incentivo ao uso do recurso de energias endógenas busca facilitar a adoção de energias renováveis e de novas tecnologias energéticas.

— Japão

CASBEE - *Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency*: sistema de avaliação que compara a qualidade e o desempenho ambiental do edifício em relação ao seu impacto energético, ambiental, de uso de materiais e de recursos, gerando um resultado numérico, o índice de eficiência ambiental do edifício (BEE). A classificação final da edificação varia de acordo com cinco níveis de eficiência estabelecidos pela ponderação de indicadores relativos a conforto térmico, carga térmica, iluminação, uso de energia natural, adaptabilidade e durabilidade do edifício, inserção no local, eficiência de sua operação, entre outros.

Criteria for Clients on the Rationalization of Energy Use for Buildings: norma de *performance* para edifícios comerciais que estabelece dois indicadores: para a envoltória (*Perimeter Annual Load – PAL*), representando a carga térmica anual dos espaços perimetrais a 5m da parede externa e do andar superior adjacente à cobertura, corrigida por um fator que compensa as diferenças do fator de forma; e para equipamentos (*Coefficient of Energy Consumption - CEC*) que inclui os sistemas de aquecimento, refrigeração, ventilação, iluminação, água quente e de transporte vertical. Os resultados são comparados com valores de referência nacionais, segundo a tipologia do edifício.

2.1.2 Avaliação de edificações no Brasil

Beraldo (2006) relata que a preocupação com o consumo de energia elétrica no Brasil iniciou-se nos anos 80 quando a demanda superou a produção. Em 2001, a crise energética obrigou quase toda a população a cumprir um plano de racionamento e, apesar da redução do consumo atingida, por meio de uma mudança de hábitos e da substituição por equipamentos mais eficientes, o aumento populacional e econômico no país mantém os padrões de crescimento. (ANEEL, 2003).

A energia elétrica consumida pelos edifícios brasileiros, incluídos nos parâmetros de consumo, representa mais de 46% do total nacional (MME, 2006).

Nas edificações dos setores públicos e comerciais, grande parte do consumo é atribuída a variáveis arquitetônicas e construtivas, já que em média 64% de seu consumo são devidos ao condicionamento ambiental e do sistema de iluminação (GELLER, 1994). Razão que demonstra a responsabilidade dos projetistas e construtores no consumo final de energia elétrica nas construções. Signor (1999) estima que edifícios com projetos adequados possam consumir aproximadamente 30% menos energia que outros que ofereçam níveis de conforto e utilização similares.

Silva (2003b) observa que a realidade do contexto brasileiro apresenta diferenças significativas quanto às necessidades de refrigeração, às fontes das matrizes energéticas, ao uso de combustíveis fósseis para aquecimento de água e à utilização de equipamentos ineficientes. Enquanto métodos internacionais têm sua origem relacionada diretamente à emissão de CO₂ durante a operação do edifício, o caso brasileiro torna relevante considerar a implementação de medidas de controle de emissão de CO₂ durante a produção dos materiais de construção, o controle independente do uso da energia elétrica e a manutenção de um indicador de eficiência energética global do edifício. Segundo a autora deveriam ser adotadas medidas de incentivo à eficiência energética ainda no início do processo, “criando oportunidades para educação de usuários e projetistas e para saltos na qualidade da especificação - ao atribuir créditos para o uso de dispositivos energeticamente mais eficientes.”

As diferenças eminentes entre a agenda ambiental brasileira e a daqueles países responsáveis pelo desenvolvimento inicial das ferramentas de avaliação de

edificações determinam a necessidade de um estudo minucioso dos itens e dos padrões de referência a serem considerados para uma metodologia nacional. A obtenção de resultados condizentes com o contexto ao qual se inserem e a incorporação da dimensão social, democrática e econômica da sustentabilidade são fundamentais. Portanto, um método orientado a desempenho, que utiliza a análise de ciclo de vida na avaliação do uso de recursos, envolve cargas ambientais e uma evolução para seus níveis de exigência, ou seja, bônus tornam-se créditos que se tornam pré-requisitos. O seu refinamento e melhoria contínuos manterão a aderência com a realidade de mercado. (SILVA, 2003).

Para Goulart (2005b), face à inexistência de um histórico brasileiro de normativas relacionadas à eficiência energética em edificações, algumas medidas podem contribuir para a implementação de um sistema brasileiro de avaliação de edifícios: normatização para prédios públicos novos, com requisitos para exceder prescrições mínimas; aplicação voluntária de uma normativa para outras edificações novas, com ênfase na sua etiquetagem; adoção de políticas de incentivos fiscais; viabilização de recursos e uma metodologia para a etiquetagem de prédios públicos existentes; construção de uma base de dados com características de edifícios e consumo de energia para o acompanhamento da evolução do sistema; e capacitação profissional e composição de entidades de credenciamento com formação especializada.

Signor (1999) em uma abordagem mais específica sugere que um código brasileiro, além de apresentar uma estrutura simples e diminuir a resistência para sua implementação, deveria incorporar basicamente os seguintes tópicos: envelope, iluminação, ar condicionado, equipamentos auxiliares, aquecimento de água para serviço e conformidade por simulação.

Quanto ao envelope, considerar: a limitação da transmitância térmica geral, observando os eventuais aspectos negativos das pontes térmicas nos materiais, que uma simples média ponderada não engloba; a utilização da massa térmica para a busca de conforto térmico; a relação janela/fachada, considerando os efeitos da radiação solar e a eventual ponte térmica originada pela sua alta condutância térmica; o incentivo ao uso de proteções solares para diminuir o consumo em climatização, bem como a incorporação da ventilação natural; a especificação da refletância dos materiais; e o controle das infiltrações nos edifícios climatizados artificialmente.

Quanto à iluminação: especificar a densidade da carga instalada; referenciar normas auxiliares para os níveis de iluminância; diversificar os pontos de controle; adotar equipamentos de iluminação com eficiência mínima determinada em norma auxiliar; estimular a iluminação natural; e adotar um sistema de manutenção.

Em relação ao sistema de condicionamento de ar deverão ser considerados dois aspectos: o sistema e os equipamentos. Quanto aos equipamentos: adotar coeficientes de *performance* mínimos para cada tipo de equipamento; calcular as cargas térmicas; estabelecer as temperaturas e as condições de operação, com calibrações ou reprogramações; controlar entalpias para renovação; prever a manutenção do sistema e a construção de dutos e instalações. Considerando os equipamentos auxiliares e o aquecimento de água, priorizar a utilização de aparelhos em conformidade com requisitos de eficiência e a adoção de sistemas alternativos à eletricidade.

No que diz respeito à conformidade por simulação, especificar o programa simulador para garantir características técnicas mínimas, exigir o acompanhamento de um laudo por profissional habilitado e determinar o consumo da edificação em estudo, comparando com outra similar de referência, atendida pela mesma norma.

Lepetitgaland (2007) observa que a implementação de um mercado auto-sustentável e autônomo em eficiência energética é muito complexa, ao considerar a necessidade de superação de alguns obstáculos, ora permanentes ora contextuais: o hábito do desperdício de energia; a precariedade de um sistema de informações realmente esclarecedor; o desinteresse por investimentos na área, face ao desconhecimento das suas vantagens; e a falta de capacitação profissional. Em contrapartida, segundo PROCEL (2007), as barreiras de caráter tecnológico, que poderiam inviabilizar a adoção de medidas energeticamente eficientes, são inexistentes.

A primeira iniciativa brasileira, no âmbito de legislações efetivamente instituídas para promover a eficiência energética, surge como consequência da crise de energia de 2001 e consiste na Lei Nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, que “dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia” (BRASIL, 2001). O artigo 4º desta lei afirma que “o Poder Executivo desenvolverá mecanismos que promovam a eficiência energética nas edificações construídas no País”. Em dezembro do mesmo ano o Decreto 4.059 (BRASIL, 2001a) estabelece em seu artigo 1º, que “os níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência

energética, (...) bem como as edificações construídas, serão estabelecidos com base em indicadores técnicos e regulamentação específica (...). Em virtude desse decreto, o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética – CGIEE e o Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País (GT-MME) foram constituídos com as seguintes metas: adotar procedimentos para avaliação da eficiência energética das edificações; criar indicadores técnicos referenciais do consumo de energia das edificações para certificação de sua conformidade em relação à eficiência energética; e estabelecer requisitos técnicos para que os projetos de edificações a serem construídas no país atendam os indicadores mencionados no item anterior.

Em outubro de 2003, cria-se um núcleo especialmente voltado à Eficiência Energética das Edificações – EEE (PROCEL EDIFICA) apresentando um Plano de Ações com diversas vertentes de atuação. Dentre elas, o subsídio à Regulamentação da Lei de Eficiência Energética com o objetivo de desenvolver uma base técnica para a regulamentação das edificações no país.

Inicialmente foi estabelecida uma metodologia para criar uma base nacional de dados sobre o consumo específico de energia elétrica em edificações, contendo informações sobre padrões de uso e usos finais de energia. Os resultados de um levantamento de dados de edifícios brasileiros e a constatação de uma uniformidade relativa da tipologia arquitetônica das edificações comerciais permite que esta categoria passe a ser regulamentada sob forma de etiquetagem de caráter voluntário, seguindo os moldes da regulamentação para equipamentos consumidores de energia elétrica do Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE. A partir de abril de 2007, com a denominação “Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos”, passam a ser disponibilizadas versões, periodicamente atualizadas, do regulamento. Oficialmente, em fevereiro de 2009 publica-se a versão oficial, especificando métodos para classificação das edificações segundo seu nível de eficiência energética: Regulamento Técnico da Qualidade (RTQ) para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. (INMETRO, 2009).

Paralelamente ao desenvolvimento de ferramentas que visam consolidar a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, a Associação Brasileira de Normas Técnicas publicou duas normas de desempenho para edificações que consistem em uma avaliação que “busca analisar a adequação ao

uso de um sistema ou de um processo construtivo destinado a cumprir uma função, independentemente da solução técnica adotada.”

A primeira delas, NBR 15520 (ABNT, 2005), trata especificamente sobre desempenho térmico e está organizada em cinco partes: definições, símbolos e unidades diretamente relacionados ao conteúdo das suas partes; procedimentos de cálculo das propriedades térmicas dos elementos e componentes das edificações - resistência, transmitância e capacidade térmica, atraso térmico e fator de calor solar (ABNT, 2005a); zoneamento bioclimático das cidades brasileiras, associado a recomendações e diretrizes para edifícios unifamiliares de interesse social com até três pavimentos (ABNT, 2005b); e descrição de dois métodos para a determinação da resistência e da condutividade térmica de materiais sólidos e granulares. (ABNTc,d, 2005).

A segunda, NBR15575 (ABNT, 2008), está relacionada especificamente ao desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos, traduz em requisitos e critérios, as exigências dos usuários quanto aos sistemas que os compõem, independentemente dos seus materiais constitutivos e de seus sistemas construtivos. A normativa, organizada em seis partes, aborda temas relacionados a sistemas estruturais, sistemas de pisos internos, sistemas de vedações verticais internas e externas, sistemas de coberturas e sistemas hidrossanitários. O estabelecimento de desempenho compreende a definição de requisitos (qualitativos), critérios (quantitativos ou premissas) e métodos de avaliação passíveis de mensuração, dentre os quais: ensaios laboratoriais, ensaios de tipo, ensaios em campo, inspeções em protótipos ou em campo, simulações e análise de projetos.

2.2 Eficiência energética nas edificações

Lamberts *et al.* (1997) define eficiência energética como “a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia. Portanto, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia.”

Segundo a WBCSD/BCSD (2007) os edifícios são um dos cinco maiores consumidores de energia, representando pelo menos 40% do consumo. No Brasil,

Lamberts *et al.* (1997) destaca que os edifícios comerciais e públicos são responsáveis por 19% do consumo de energia elétrica, com os sistemas de iluminação e ar condicionado representando, aproximadamente, parcelas de 44 e 20%, respectivamente.

A partir desse cenário, enfatizado pela Figura 2.1, Lepetitgaland (2007) determina que o planejamento da oferta de energia é essencial para atingir um equilíbrio entre a oferta e a demanda de energia.

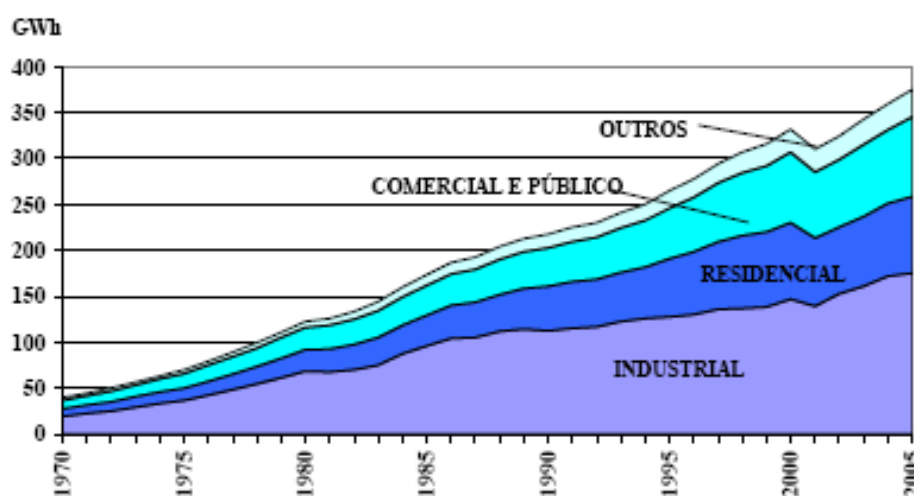


Figura 2.1 – Evolução dos consumos setoriais do Brasil de 1970 a 2005
Fonte: BEN, 2006.

Geller (2003) alerta que “as atuais fontes de energia e padrões de uso são insustentáveis” e Horta (2007) declara que os investimentos para proporcionar o uso eficiente de energia são inferiores àqueles destinados à ampliação da geração de energia.

A *International Energy Agency* (IEA, 2006) em uma projeção até 2030 estima que os gastos com energia em edificações vão determinar aproximadamente metade dos investimentos, com mais de 80% do consumo se desenvolvendo ao longo da fase operacional do ciclo de vida do edifício.

“O uso de energia elétrica em prédios públicos está vinculado aos padrões tecnológicos e de eficiência energética dos diversos sistemas e equipamentos instalados, às suas características arquitetônicas, ao clima local, à atividade a que se destina e ao comportamento e grau de consciência dos usuários.” (MAGALHÃES, 2001)

Ainda, segundo WBCSD/BCSD (2008) as diferenças resultantes do nível de desenvolvimento de cada país determinam soluções e padrões de qualidade diferenciados.

Especificamente, associando o consumo de energia elétrica às edificações, Beraldo (2006) considera que para um edifício ser eficiente deve ser compreendido como um “sistema energético dinâmico, com seus componentes e subsistemas interligados pelos fluxos de energia e de massa direcionados pelos usos finais necessários”. Yeang (2001) completa que é possível quantificar um edifício em função do consumo de energia de seus componentes, dos impactos provocados no ecossistema ao longo da sua vida útil e da reutilização de materiais.

Segundo Lamberts e Triana (2007) as variáveis associadas à eficiência energética em edificações compreendem conceitos relacionados à bioclimatologia, ao desempenho térmico, ao conforto ambiental, à ventilação natural, à iluminação natural e iluminação eficiente, ao uso de recursos renováveis de energia e ao uso de aparelhos energeticamente eficientes.

2.2.1 Bioclimatologia

Lamberts e Triana (2007) conceituam o termo bioclimatologia como a relação entre o clima de um local e a arquitetura das edificações, visando à adoção de estratégias adaptadas às características climáticas e que otimizem as inter-relações entre clima, homem e habitat.

Segundo Beraldo (2006) as potencialidades do clima devem ser estudadas segundo três diferentes períodos de uso da energia em um edifício: diário, sazonal e anual. As variações diárias na temperatura do ambiente e na radiação solar são consideradas para o uso da energia no edifício e para a análise das cargas de pico. Porém, esta variabilidade média diária também se modifica segundo as estações e, para uma análise sazonal da luz natural e da temperatura deve-se determinar os padrões anuais de uso da energia e identificar os meses em que ocorrem os picos de carga, tanto de aquecimento como resfriamento.

O zoneamento bioclimático brasileiro (ABNT, 2005c) classifica características climáticas relativamente homogêneas em oito subdivisões (Figura 2.2), tomando por base o registro e aplicação dos dados das normais climatológicas de 330 cidades sobre uma carta bioclimática.

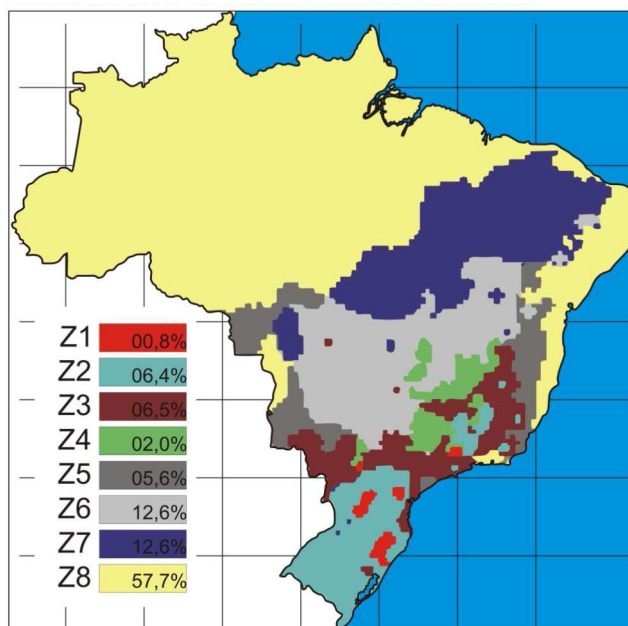


Figura 2.2 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro

Fonte: ABNT, 2005c.

Esse diagrama, com variáveis de temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar, adaptado a partir de Givoni (1992), define os limites da zona de conforto e das zonas (Figura 2.3) que indicam recomendações estratégicas de acordo com o local.

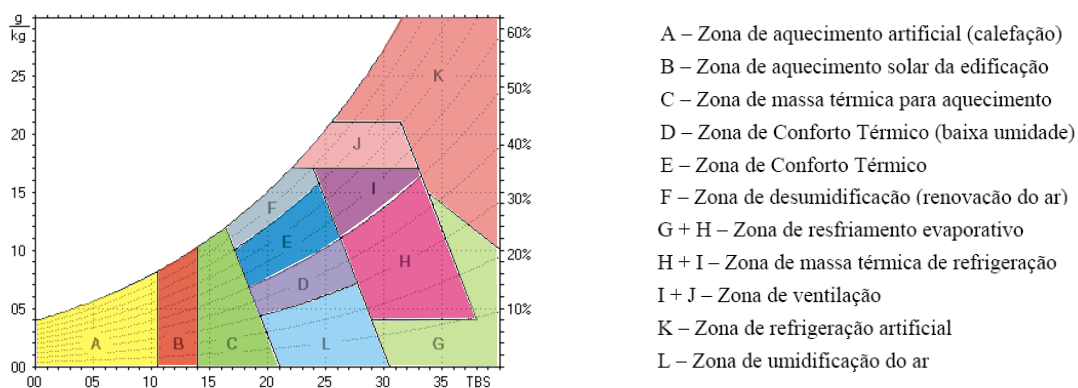


Figura 2.3 – Carta bioclimática adaptada para o Brasil

Fonte: ABNT, 2005c.

2.2.2 A influência da envoltória e as cargas térmicas do edifício

O desempenho de um edifício está diretamente relacionado com as características dos elementos que o conformam e suas interações. Os fechamentos que delimitam o espaço exterior e interior, caracterizando o envelope construtivo são o ponto de partida para a determinação da eficiência energética e para a necessidade de sistemas de aquecimento, resfriamento e ventilação. (WBCSD/BCSD, 2007).

De acordo com Silva (2007), a forma arquitetônica é determinante quanto à quantidade de radiação solar, luz natural e ventilação recebida pelo edifício. Olgay (1998) apud Silva (2007) afirma que a situação ideal concentra-se na otimização dos ganhos e perdas de calor de acordo com as estações do ano e considera como recomendáveis para as zonas temperadas, as formas orientadas longitudinalmente em relação à direção leste-leste. Mascaró (1991), quanto à altura, indica que o aumento desta dimensão minimiza a carga térmica recebida em função da latitude do local. Rivero (1986) completa que, em qualquer época do ano, a exposição à radiação solar nas superfícies verticais será menor e que a orientação do edifício influencia diretamente a quantidade de calor imposto ao edifício. Por conseguinte, a intensidade de radiação solar transferida para o interior dependerá da capacidade de conservar calor da envoltória e das características dos materiais de revestimento associadas a sua cor, já que as propriedades de absorção ou reflexão modificam-se para um mesmo material com coloração diferente. (ROMERO, 2001).

Mascaró (1991), quanto às superfícies transparentes, observa que podem comprometer o balanço térmico do edifício e, segundo Rivero (1986), em latitudes menores que 40°, trabalhar com as propriedades absorventes, refletoras e as espessuras dos vidros para a composição das aberturas torna-se ineficiente. Santos (2004) especifica que as propriedades ideais de um vidro estão relacionadas com uma alta transmissão de luz visível (T_v) e baixos ganhos de calor (FCS), o que comprovadamente não é verificado considerando que a grande maioria dos materiais transparentes apresentam FCS superiores à T_v . No entanto, Lamberts *et al.* (1997) lembra que outras variáveis podem impedir ou reduzir a radiação solar direta incidente nas superfícies envidraçadas, dentre elas: a orientação e tamanho das aberturas e o uso de proteções solares - internas, externas ou mesmo combinadas.

Beraldo (2006), observando que a massa térmica definida pela envolvente do edifício funciona como um filtro e que as variáveis climáticas impõem cargas térmicas dinâmicas e variáveis segundo ciclos diários, destaca que a intensidade e a frequência dos ganhos solares são alterados periodicamente.

Quanto à origem das cargas térmicas de um edifício Magalhães (2001) e Lamberts *et al* (1997) estabelecem duas categorias: externa, determinada pelas condições climáticas (temperatura, radiação solar e umidade), pela admissão ou infiltração de ar exterior, pela forma arquitetônica e pelo tipo de fechamento (opaco ou transparente às formas de radiação); e interna, provenientes do metabolismo humano, do uso de equipamentos e processos, do sistema de iluminação ou de ambientes adjacentes sob temperaturas elevadas. Beraldo (2006) ressalta que o calor liberado pelas cargas internas, em função da ocupação e das atividades desenvolvidas, é traduzido no consumo de uma determinada fonte de energia e no aumento do ganho de calor para o edifício. Para exemplificar, Caddet (1995) apud Ghisi (1997), afirma que a carga de aquecimento gerada por 2 kW de iluminação deve ser compensada por 1 kW de energia elétrica para o condicionamento do ar e, de acordo com Epri (1993) apud Ghisi (1997), a carga transformada pelo sistema artificial ainda é maior do que aquela proveniente da iluminação natural.

2.2.3 Sistema de iluminação eficiente

Ghisi (1997) define que um sistema de iluminação deve fornecer uma quantidade de luz que atenda às exigências visuais dos usuários no momento em que suas tarefas são desenvolvidas. Portanto, visa proporcionar um ambiente visual adequado utilizando as principais variáveis da luz: níveis de iluminância, índice de reprodução de cor, temperatura de cor, taxas de luminâncias e contrastes. A NBR 5413 - Iluminância de Interiores (ABNT, 1992) estabelece valores de iluminâncias por classes de tarefas visuais e por tipo de atividade, onde o uso adequado das iluminâncias depende das características da tarefa e do observador: idade, velocidade e precisão da atividade visual e refletância do fundo da tarefa. Quanto à qualidade da iluminação deve-se considerar que um sistema pode provocar

distorções na visualização dos objetos. Estratégias como controle de ofuscamento, difusão, uniformidade de distribuição, sombras e cor devem ser incorporadas.

Em relação ao consumo de energia e a eficiência de um sistema de iluminação, Signor (1999) enumera algumas características que são determinantes: tipo de lâmpada e de reator, observando a relação consumo/fluxo luminoso e sua emissão de calor; tipo de luminária, considerando a distribuição adequada do fluxo; e a absorvidade dos elementos físicos, influenciando na intensidade de reflexão e na potência instalada do ambiente.

O estado da arte dos sistemas de iluminação indica que sejam considerados limites de potência instalada para as edificações em função do uso a que se destinam. (Caddet, 1995 apud Ghisi, 1997).

No entanto, de acordo com Ghisi (1997) mesmo quando a potência instalada de iluminação é inferior aos limites estipulados, deve-se verificar o potencial de conservação de energia elétrica, através da verificação do regime de utilização do sistema e dos adequados níveis de iluminação. A potência instalada² representa uma ferramenta de normalização para limitar o consumo de energia em elétrica. A ASHRAE Standard (ASHRAE/IES, 1989) utiliza esta variável, estabelecendo valores limites médios de densidade de potência³ a serem atendidos em função do tipo de uso do edifício e/ou da atividade específica de cada ambiente.

Em termos práticos, Ghisi (1997) define que a eficiência energética do sistema de iluminação é representada pela quantidade de energia utilizada na produção de luz visível e medida pela relação lúmen/watt. O uso de componentes com alta eficiência luminosa, luminárias reflexivas, reatores com alto fator de potência e ambientes com superfícies de maior refletância contribuem para a minimização da potência instalada. Um sistema luminotécnico será mais eficiente do que outro se, para um mesmo nível de iluminância, alcançar valores inferiores de densidade de potência. (OSRAM, 2008).

Diretamente relacionadas à redução do consumo do sistema de iluminação, considerando o tempo de uso e a forma de utilização, Ghisi (1997) sugere a adoção de medidas de controle e integração entre iluminação natural e artificial, um nível de

² Potência total instalada, em Watts, que consiste no somatório das potências de todos os aparelhos do sistema de iluminação, ou seja, a potência das lâmpadas, multiplicada pelo número de unidades, somada à potência de todos os reatores, transformadores e/ou ignitores. (OSRAM, 2008)

³ Potência total instalada para cada metro quadrado de área, em W/m². (OSRAM, 2008)

comprometimento do usuário e a utilização de sistemas de iluminação suplementar. Ainda, a manutenção freqüente dos equipamentos e das características físicas do ambiente deve ser ponderada, pois a alteração das propriedades dos componentes altera a quantidade de luz visível necessária para o desenvolvimento de uma tarefa.

Van Bogaert (1996) apud Ghisi (1997), a partir de percentuais de redução do consumo na ordem de 30 a 70%, comprova uma economia de energia a partir da integração do sistema de controle da iluminação artificial com os níveis de iluminação natural. Dentre os principais mecanismos de controle, manuais ou automáticos, Ghisi (1997) indica os sensores de ocupação, os temporizadores e a divisão de circuitos.

2.2.4 Aparelhos eficientes e o sistema de condicionamento de ar

De acordo com Signor (1999), o sistema de condicionamento de ar envolve variáveis relacionadas sob os seguintes aspectos: tipo de sistema, central ou individual; tipo de equipamento compressor, determinado por fatores como o regime de trabalho, o tamanho dos aparelhos e as cargas a que são submetidos; características do edifício, relacionadas à sua ocupação e finalidade, ao regime de funcionamento, ao desempenho térmico e à composição da membrana que a envolve; equipamentos utilizados internamente para o desenvolvimento de atividades no interior dos ambientes, entre outros.

Lamberts *et al* (1997) relata que o dimensionamento de um sistema de condicionamento será determinado pelo cálculo da carga térmica ao qual está submetido, visando à quantificação de calor total que deverá ser retirada ou fornecida ao ar ambiente. O conceito de carga térmica, segundo Procel (2005), consiste na “quantidade de calor que é absorvida proveniente de fontes de calor externas ou internas, podendo ser expressa em watts (w), quilocalorias/h (kcal/h) ou BTU/h”. Logo, a capacidade do equipamento condicionador de ar será a “quantidade de calor que um equipamento deve ser capaz de remover de um ambiente, equivalente ou superior à carga térmica do ambiente”. (PROCEL, 2005).

Pena (2002) estabelece os fatores que fixam a carga de um ambiente: a radiação solar através das superfícies envidraçadas; os ganhos de calor por

condução através das paredes externas e coberturas; o ar de ventilação, utilizado para renovação do ar interno; o ar infiltrado pelas aberturas, frestas ou por efeito de exaustores; os ganhos de calor por condução, pelos materiais dos elementos construtivos como vidros, paredes, forros e pisos; o calor dissipado por equipamentos e pelo sistema de iluminação artificial; e a carga de ocupação, proveniente do metabolismo dos usuários. Beraldo (2006) observa ainda, que o sistema de distribuição pode contribuir com cargas adicionais, causadas por fricções, infiltrações, perdas durante a transferência de calor pelos dutos ou por falhas dos mecanismos, que poderão comprometer a eficiência do sistema como um todo.

A eficiência de um sistema de ar condicionado é demonstrada pela relação entre o seu efeito frigorífico (capacidade do condicionador) e a potência requerida do compressor. (PROCEL, 2005). Os indicadores que expressam essa eficiência, segundo Pena (2002): COP (*Coefficient of Performance*), avalia o rendimento a partir da relação entre a capacidade de remoção de calor do equipamento (energia útil ou efeito frigorífico) e a potência requerida pelo compressor (energia consumida); o EER (*Energy Efficiency Rate*), relaciona o efeito frigorífico produzido em BTU/h (EF) e o trabalho de compressão dispendido em Watts e equivale à 3,41 COP; e a eficiência em kW/TR, sob a mesma relação, porém em unidade diferentes e considerando que uma tonelada de refrigeração (TR) é equivalente à 12.000 BTU/h.

3 METODOLOGIA

A etapa de levantamento de dados preliminares consistiu na coleta de informações e registro das características físicas e de uso de energia do edifício, a partir da técnica de observação direta intensiva (MARCONI e LAKATOS, 2003).

O edifício escolhido para objeto deste estudo compreende as dependências do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria/RS e foi determinado pelas seguintes etapas:

- Levantamento de dados segundo as especificações determinadas pela normativa;
- Aplicação do Regulamento Técnico da Qualidade (RTQ) para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos para obtenção das classificações parciais e geral da edificação;
- Verificação da influência das variáveis dos requisitos através da elaboração de cenários;
- Análise qualitativa da aplicabilidade do Regulamento sob o ponto de vista da prática arquitetônica.

A classificação do nível de eficiência energética seguiu as prescrições estabelecidas no Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. (INMETRO, 2009).

A edificação, nova ou existente, para ser elegível à aplicação do regulamento, deve possuir área total útil mínima de 500m² e/ou tensão de abastecimento superior ou igual a 2,3kV e apresentar ambientes totalmente condicionados, parcialmente condicionados ou não condicionados.

Primeiramente, o nível de eficiência da edificação é classificado parcialmente, segundo três grupos principais de requisitos: envoltória, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar. Independentemente, cada grupo apresenta pré-requisitos específicos que determinam o nível de classificação parcial.

Os procedimentos metodológicos adotados para a obtenção das respectivas classificações foram avaliados separadamente e ordenados em duas etapas. Na

primeira, os dados foram coletados e codificados (MARKONI e LAKATOS, 2003) em função dos pré-requisitos específicos de cada grupo (parâmetros específicos de cada requisito); e na segunda, foram calculados os respectivos níveis de eficiência, considerando equações e tabelas indicadas no regulamento e também realizada a verificação quanto ao atendimento dos pré-requisitos específicos.

O nível de classificação de cada requisito corresponde a um equivalente numérico que determina o nível de eficiência do grupo.

A classificação geral do nível de eficiência do edifício foi determinada pelo resultado de uma pontuação total, obtida a partir do resultado da equação geral estabelecida no RTQ.

A representação das classificações parciais e geral da edificação aparece no modelo da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE (Figura 3.1) e a obtenção do Selo Procel (INMETRO) está condicionada ao nível de classificação A nos três requisitos parciais.

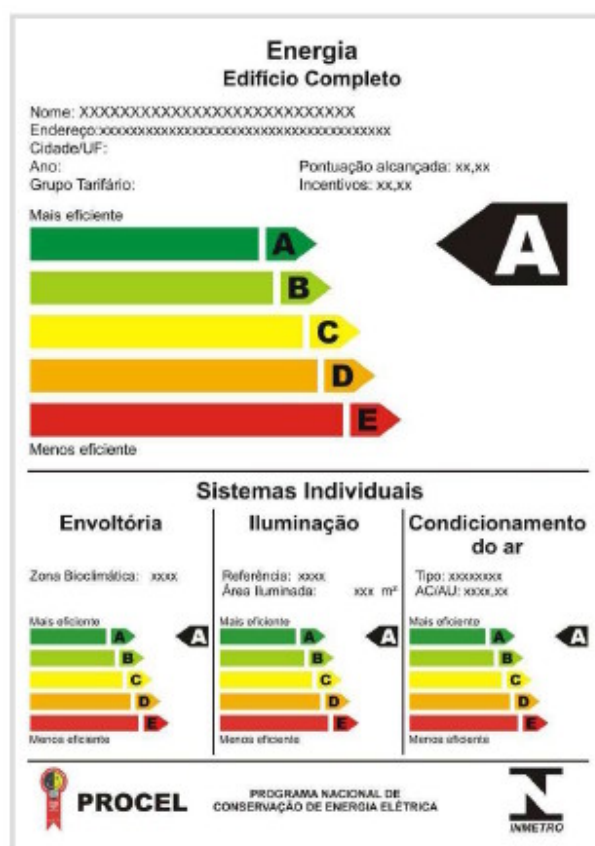


Figura 3.1 – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia - ENCE
 Fonte: Lamberts, 2008.

3.1 Envoltória (Env)

A envoltória da edificação consiste em “planos externos da edificação, compostos por fachadas, empenas, cobertura, brises, marquises, aberturas, assim como quaisquer elementos que os compõem.” (INMETRO, 2009).

No caso da edificação em estudo foi considerado como envoltória os planos verticais perpendiculares que conformam as fachadas norte, sul, leste e oeste e o plano horizontal da cobertura do conjunto.

Os pré-requisitos específicos que determinaram as variáveis para a coleta de dados e os procedimentos para a classificação do nível de eficiência do requisito envoltória estão a seguir relacionados.

3.1.1 Transmitância térmica das paredes externas e da cobertura

O Regulamento (INMETRO, 2009) conceitua paredes externas como “superfícies opacas que delimitam o interior do exterior da edificação; esta definição exclui as aberturas.”

A transmitância térmica das paredes (U_{par}) e da cobertura (U_{cob}) foi determinada utilizando-se valores que constam no Anexo D da NBR 15220 – Parte 3 (ABNT, 2005c), que indica as propriedades térmicas de algumas paredes e coberturas. Aqueles valores que não aparecem no Anexo foram calculados de acordo com a NBR 15220 - Parte 2 (ABNT, 2005b). Os dados coletados foram representados graficamente sobre os elementos do levantamento físico da edificação e tabelados em planilhas.

O atendimento ao pré-requisito transmitância térmica das paredes externas foi verificado após a ponderação dos diferentes valores encontrados em relação às respectivas áreas.

Em relação à transmitância térmica da cobertura o valor encontrado foi calculado segundo a NBR 15220 - Parte 2 (ABNT, 2005b).

3.1.2 Cor e absorvância solar das paredes externas e da cobertura

A cor e absorvância das paredes externas foram identificadas visualmente, sendo os valores de absorvância adotados por comparação com os dados obtidos por Dornelles (2008).

A representação gráfica dos resultados foram ilustrados sobre os elementos do levantamento físico e tabelados em planilhas.

O atendimento ao pré-requisito cor e absorvância solar das paredes externas foi verificado após a ponderação dos diferentes valores encontrados em relação às respectivas áreas.

O valor da absorvância solar da cobertura, ao apresentar uma composição homogênea, correspondeu a um valor único extraído de Rivero (1985).

3.1.3 Determinação do nível de eficiência da Envoltória

O método de classificação da eficiência da envoltória foi baseado no cálculo de um Indicador de Consumo (IC_{env}), segundo equação do Regulamento (INMETRO, 2009). A seleção da equação ocorreu em função da área de projeção do edifício ser maior que 500m² e que o edifício localizar-se na ZB2, de acordo com o Zoneamento Bioclimático Brasileiro da NBR 15220 – Parte 3 (ABNTc, 2005).

Os parâmetros que determinam o valor do Indicador de Consumo da Envoltória foram calculados a partir das variáveis da Equação 1, descritas abaixo.

$$IC_{env} = -14,14 .FA - 113,94 .FF + 50,82 .PAF_T + 4,86 .FS - 0,32 .AVS + 0,26 .AHS - \frac{35,75}{FF} - 0,54 .PAF_T .AHS + 277,98 \quad (\text{Equação 1})$$

- área de projeção do edifício (A_{pe}), delimitada pela projeção horizontal do edifício, considerando o formato uniforme da edificação;
- área total de piso (A_{tot}), resultante do somatório das áreas de piso dos pavimentos, medidas externamente;

- área da envoltória (A_{env}), somatório da área total das quatro fachadas e da área de cobertura;
- volume total da edificação (V_{tot}), delimitado pelos fechamentos externos (fachadas e cobertura) da edificação;
- Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS), obtido a partir da ponderação dos ângulos formados entre o plano que contém a base da folha de vidro das aberturas e o plano formado pela extremidade mais distante da proteção solar vertical e a extremidade oposta da base da folha de vidro;
- Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS), obtido a partir da ponderação dos ângulos formados entre o plano que contém a base da folha de vidro das aberturas e o plano formado pela extremidade mais distante da proteção solar horizontal até a base da folha de vidro;
- Fator Altura (FA), determinado pela relação entre a área de projeção do edifício (A_{pe}) e a área de piso (A_{tot});
- Fator de Forma (FF), calculado a partir da relação entre a área da envoltória (A_{env}) e o volume do edifício (V_{tot});
- Fator Solar (FS), relativo a uma incidência de radiação solar ortogonal à área da abertura, foi obtido pela ponderação dos elementos transparentes pelas respectivas áreas com valores de Fator Solar extraídos de Lamberts *et al*, (1997) e de Mascaró (1991);
- Percentual de Área de Abertura na Fachada Total (PAF_T), determinado pela razão entre o somatório das áreas unicamente envidraçadas das quatro fachadas e a área total de fachada da edificação.

Posteriormente, foi realizado o cálculo dos indicadores máximo ($IC_{máxD}$) e mínimo ($IC_{mín}$) para a volumetria do edifício em estudo, adotando-se os parâmetros de entrada fornecidos pelo Regulamento (INMETRO, 2009).

Os limites estabelecidos pelos indicadores representaram um intervalo (i) que, dividido em quatro partes, refere-se a um nível de classificação numa escala de desempenho que varia de “A” a “E”. A partir do valor de (i) foram determinados os limites dos intervalos dos níveis de eficiência, preenchendo-se a tabela indicada pelo Regulamento (INMETRO, 2009).

A obtenção do nível de classificação da eficiência da envoltória do edifício resultou da comparação do valor de IC_{env} com os limites dos intervalos dos níveis de

eficiência da volumetria, objeto deste estudo, estabelecendo o equivalente numérico da envoltória (EqNumEnv).

3.2 Sistema de Iluminação

Os pré-requisitos específicos estão relacionados com os critérios de controle do sistema e determinaram o nível de eficiência dos ambientes, separadamente. Segundo o RTQ (INMETRO, 2009) um ambiente configura-se como um “espaço interno de um edifício, fechado por superfícies sólidas, tais como paredes ou divisórias, teto, piso e dispositivos operáveis tais como janelas e portas.”

A coleta de dados para a verificação do atendimento aos pré-requisitos foi realizada a partir de observação direta intensiva e registrada em tabelas e em esquemas gráficos.

3.2.1 Divisão dos circuitos

Cada ambiente foi verificado quanto à existência de pelo menos um dispositivo de controle manual para acionamento independente do sistema de iluminação interna, fisicamente e visualmente acessível pelo ocupante. Os ambientes com área superior a 250m² foram verificados quanto à existência de dispositivos de controle individuais.

3.2.2 Contribuição da luz natural

Os ambientes com janela voltada para o ambiente externo e que possuíam mais de uma fileira de luminárias paralelas às janelas foram verificados quanto à existência de acionamento independente, manual ou automático, da fileira de luminárias mais próxima às janelas.

3.2.3 Desligamento automático

O sistema de iluminação interna dos ambientes com área superior a 250m² foram avaliados quanto à presença de dispositivo de controle automático para desligamento da iluminação. As opções de funcionamento do sistema que foram analisadas são:

- desligamento em horário pré-determinado;
- sensor de presença com desligamento do sistema, transcorridos trinta minutos da saída de todos os ocupantes do ambiente;
- sinalização de um outro controle ou sistema de alarme, indicando a desocupação do ambiente.

A verificação do horário de funcionamento do ambiente, propositalmente, por vinte e quatro horas; o tipo de uso do ambiente, relacionado ao tratamento ou repouso de pacientes; e a comprovação de que o desligamento pudesse oferecer riscos à integridade física dos usuários, desconsideraram o atendimento a esse pré-requisito.

3.2.4 Determinação do nível de eficiência do Sistema de Iluminação

O procedimento adotado para a determinação do nível de eficiência foi baseado no método de cálculo da Densidade de Potência de Iluminação (DPI).

As variáveis que determinaram a coleta de dados para o cálculo da Densidade de Potência de Iluminação (DPI) estão relacionadas abaixo:

- índice de ambiente (k), calculado pela Equação 4.2 do Regulamento (INMETRO, 2009);
- nível de iluminância (E) dos ambientes, extraídos da NBR 5413 – Iluminância de Interiores (ABNT, 1992), adotando-se os valores de iluminância médios, ao considerar a característica de velocidade e precisão

da tarefa como importante, a idade do observador inferior a quarenta anos e a refletância do fundo de tarefa entre 30 e 70%;

- Densidade de Potência de Iluminação Absoluta (DPI_A), determinada pela razão entre o somatório da potência de lâmpadas e reatores e a área do ambiente;
- Densidade de Potência de Iluminação Relativa (DPI_R), valor relativo à DPI_A para cada 100 lux produzidos pelo sistema de iluminação artificial, considerado para uma iluminância medida no plano de trabalho;
- Densidade de Potência de Iluminação Relativa Limite (DPI_{RL}), limite máximo aceitável de DPI_R para cada nível de eficiência em função do índice de ambiente, determinado pelo Regulamento (INMETRO, 2009).

Em relação à variável Iluminância considerou-se que os níveis de cada ambiente atendem aos determinados pela NBR 5413 – Iluminância de Interiores. (ABNT, 1992).

Os dados coletados foram representados graficamente sobre os elementos do levantamento físico da edificação e tabelados em planilhas.

A classificação do nível de eficiência de cada ambiente foi determinada a partir da comparação do valor da Densidade de Potência de Iluminação Relativa (DPI_R) com os valores relativos limites (DPI_{RL}).

O nível de eficiência total do sistema de iluminação foi calculado a partir da ponderação dos equivalentes numéricos do nível de eficiência de cada ambiente em relação às respectivas áreas. O resultado da ponderação definiu o equivalente numérico do sistema de iluminação (EqNumDPI).

3.4 Sistema de Condicionamento de Ar

O atendimento ao pré-requisito sombreamento permanente e ventilação adequada para os aparelhos condicionadores de ar do tipo janela ou para as unidades condensadoras dos condicionadores do tipo *split* foi verificado separadamente em cada ambiente, determinando o nível de eficiência para cada equipamento.

3.4.1 Determinação do nível de eficiência do Sistema de Condicionamento de Ar

A coleta de dados referente aos sistemas e equipamentos existentes nos ambientes condicionados foi realizada a partir da observação direta intensiva (MARCONI e LAKATOS, 2003) do registro do número de identificação de patrimônio, fixado ao aparelho, sendo os resultados ilustrados sobre os elementos do levantamento físico da edificação e tabeladas em planilhas. A partir do acesso ao banco de dados do Sistema da UFSM foram identificados o fabricante, a marca, o modelo, a versão e a capacidade de refrigeração.

Posteriormente, a partir da identificação dos aparelhos de cada ambiente, o nível classificação da eficiência de cada aparelho foi extraído das tabelas do Programa Brasileiro de Etiquetagem PBE/INMETRO (INMETRO, 2008), que classifica os equipamentos de acordo com o seu coeficiente de eficiência energética.

Considerando que a classificação geral do nível do sistema de condicionamento de ar resultou da prévia classificação de um conjunto de diferentes ambientes, procedeu-se à ponderação das eficiências de cada ambiente pelas respectivas áreas. O coeficiente de ponderação de cada ambiente foi calculado e, posteriormente, multiplicado pelo Equivalente Numérico (EqNum) de cada nível de eficiência, determinado no Regulamento (INMETRO, 2009). O somatório dos resultados ponderados definiu o equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar (EqNumCA).

3.5 Classificação geral do nível de eficiência da edificação

A determinação do nível de classificação da eficiência energética da edificação como um todo é determinada pela distribuição de pesos específicos para cada um dos três requisitos parciais apresentados no regulamento (Envoltória, Sistema de Iluminação e Sistema de Condicionamento de Ar) e considerando áreas condicionadas e não condicionadas

O nível de eficiência propriamente dito foi calculado a partir da Equação 2 (INMETRO, 2009).

$$PT = 0,30 \cdot \left\{ \left(\text{EqNumEnv} \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 0,5 + \frac{ANC}{AU} \cdot \text{EqNumV} \right) \right\} + 0,30 \cdot (\text{EqNumDPI}) + 0,40 \cdot \left\{ \left(\text{EqNumCA} \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 0,5 + \frac{ANC}{AU} \cdot \text{EqNumV} \right) \right\} + b_0^1$$

(Equação 2)

Os parâmetros apresentados na equação, além dos equivalentes numéricos definidos pelas classificações parciais, são:

- EqNumV: equivalente numérico dos ambientes não condicionados e/ou ventilados naturalmente;
- APT: áreas úteis de piso dos ambientes de permanência transitória não condicionados, medidas a partir dos ambientes de circulação, depósitos e sanitários;
- ANC: áreas úteis de piso dos ambientes não condicionados de permanência prolongada, descontadas as APT;
- AC: áreas de piso dos ambientes condicionados;
- AU: área útil total da edificação, medida entre os paramentos internos das paredes que delimitam os ambientes;
- b: bonificações, avaliadas pelas iniciativas adotadas quanto ao uso de soluções mais eficientes.

3.5.1 Bonificações

A verificação quanto ao uso de soluções que visam aumentar a eficiência da edificação, indicadas no Regulamento (INMETRO, 2009) e relacionadas à racionalização do uso da água, ao uso de sistemas ou fontes renováveis de energia, sistemas de cogeração ou sistemas de redução do consumo de energia elétrica em no mínimo 30% permite o acréscimo em até um (1) ponto ao resultado da pontuação total.

3.5.2 Pré-requisitos gerais

O objeto desse estudo trata-se de uma edificação construída em período anterior à publicação do Regulamento (INMETRO, 2009). Portanto a verificação de atendimento ao pré-requisito tipo de medição do circuito elétrico, que limita o nível C como máximo para a classificação geral, foi desprezada.

O atendimento ao requisito mínimo para a obtenção do nível de eficiência A não foi analisado, considerando que a edificação não apresenta sistema de aquecimento de água e elevadores.

3.5.3 Pré-requisitos específicos

A análise quanto à verificação de atendimento aos pré-requisitos específicos dos itens Envoltória, Sistema de Iluminação e Condicionamento de Ar foi considerada, pois determina o nível de classificação parcial dos respectivos itens e inviabiliza a opção alternativa de classificação do nível de eficiência através do método de simulação computacional.

3.6 Análise da aplicabilidade do Regulamento sob o ponto de vista da prática arquitetônica

A aplicabilidade do Regulamento sob o ponto de vista da prática arquitetônica foi analisada qualitativamente, considerando: a facilidade de obtenção dos dados requeridos pela normativa para a classificação parcial e geral da edificação; o uso do Regulamento como ferramenta de auxílio à etapa de concepção de projeto; o nível de domínio dos conhecimentos necessários à aplicação da metodologia; e a relação da geometria do edifício, simplificando a etapa de levantamento de dados.

4 OBJETO DE ESTUDO

A edificação selecionada para a aplicação do Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, trata-se de um edifício de caráter público e institucional, destinado ao prédio principal do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria – CT/UFSM. A importância do edifício está relacionada à representatividade de sua tipologia como um padrão físico e construtivo para o conjunto edificado do Campus da UFSM que apresenta o mesmo caráter.

A aplicação do método prescritivo que classifica o nível de eficiência energética de uma edificação de caráter público e educacional embasa o desenvolvimento de um projeto piloto para a classificação do nível de eficiência das edificações com maior representatividade no Campus Universitário, considerando que apresentam características similares. A Figura 4.1 apresenta o Campus Universitário e demonstram a similaridade das edificações.

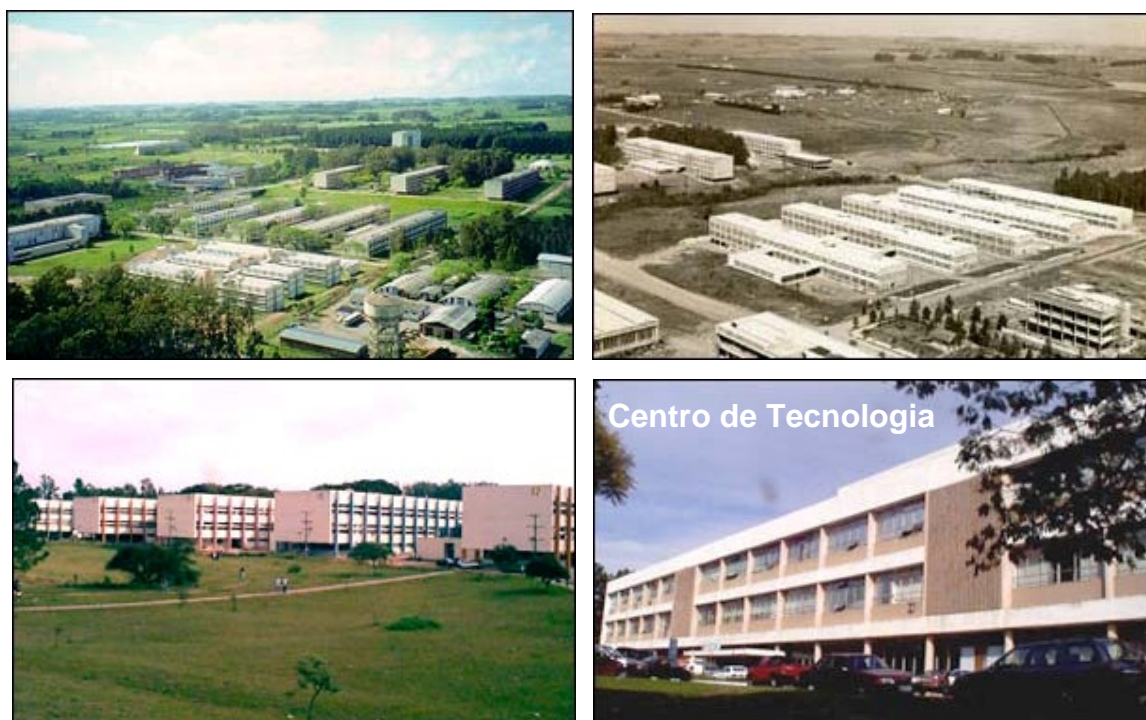


Figura 4.1 – Vistas aéreas do Campus da UFSM e o conjunto edificado

Fonte: <http://www.ufsm.br>

4.1 Caracterização do município e da área de estudo

Santa Maria, município do estado do Rio Grande do Sul, tem coordenadas geográficas entre $53^{\circ} 35'$ e $54^{\circ} 08'$ de longitude oeste e $29^{\circ} 33'$ e $34^{\circ} 00'$ de latitude sul e uma altitude média de 113 metros acima do nível do mar, sendo descrita, pelo Núcleo de Pesquisa e Aplicação de Geotecnologias (INPE, 2006), como uma cidade localizada na região denominada Depressão Central e rodeada pelos morros do Planalto Meridional do Brasil, como mostram as Figuras 4.2 e 4.3.

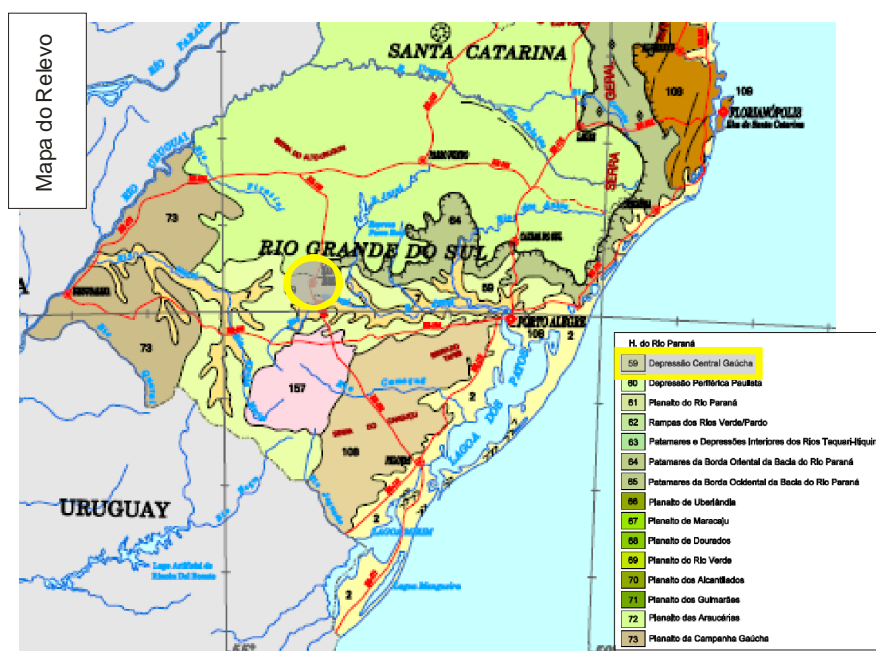


Figura 4.2 – Cidade situada na região da Depressão Central
Fonte: Mapa de Relevos de Unidades do Brasil (IBGE, 2006).

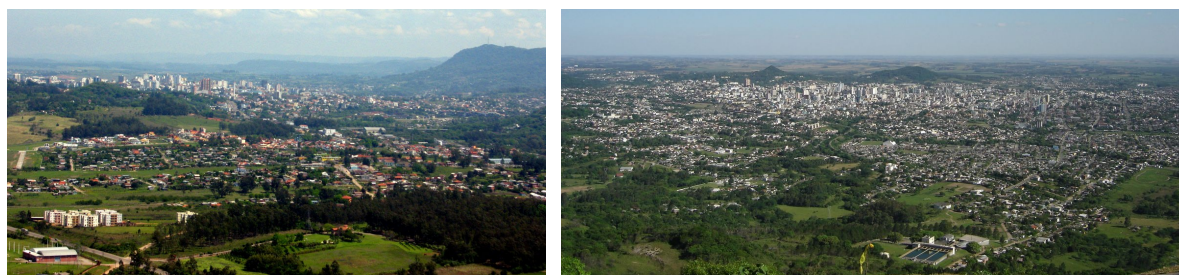


Figura 4.3 – Fotos panorâmicas da cidade
Fonte: <http://images.google.com.br>

O município, com sua zona urbana assentada sobre coxilhas, abriga uma população estimada em 270.073 habitantes com um PIB per capita de R\$ 9.811,00 reais e destaca-se como capital regional da sua zona de influência (IBGE, 2007), identificada pela Figura 4.4.

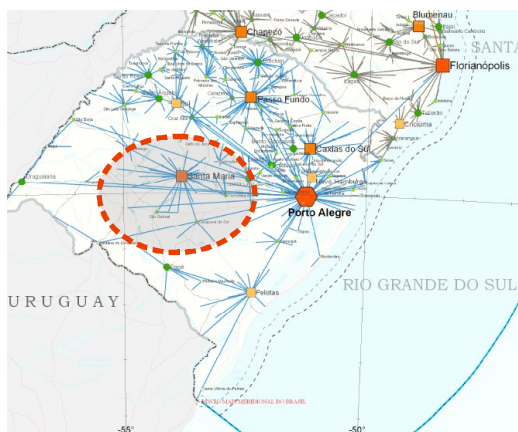


Figura 4.4 – Região de influência da cidade de Santa Maria-RS
Fonte: Mapa de Influências das Cidades (IBGE, 2007).

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2002) classifica seu clima na faixa temperado mesotérmico brando super úmido - sem seca, com temperaturas médias entre 10° e 15°C, demonstrado na Figura 4.5. Saydelles (2005), analisando a cartografia térmica digital topoclimática da cidade, complementa registrando uma amplitude térmica urbano-rural de 15°C e constatando respostas térmicas superficiais diferenciadas: áreas mais aquecidas, entre 17° e 19°C; áreas com temperaturas moderadas, entre 15° e 18°C; áreas com temperaturas brandas, entre 13° e 17°C; e áreas com temperaturas baixas, entre 10° e 16°C.



Figura 4.5 –Clima temperado mesotérmico brando super úmido - sem seca
Fonte: Mapa de Clima do Brasil (IBGE, 2007).

Portanto, segundo a classificação de Saydelles (2005) a edificação objeto deste estudo, ao localizar-se no bairro Camobi (Figura 4.6), situa-se na zona com temperaturas moderadas: orientação a leste da cidade, em uma área de topografia suave sem desníveis acentuados no relevo e com uma concentração relativa de vegetação, que absorve grande parte da radiação incidente.



Figura 4.6 – Bairro Camobi em relação ao centro da cidade
Fonte: Google earth, 2009.

Em relação à direção dos ventos predominantes, Sartori (1979) identifica a direção leste e, posteriormente, a sudeste. Complementando a caracterização, quanto às temperaturas, das direções norte a nordeste procedem ventos com temperaturas mais elevadas e das direções sul e sudoeste ventos com temperaturas mais frias. Considerando que a topografia do sítio e a penetração em área urbana podem modificar ou intensificar essas direções, para o caso de Santa Maria, os ventos predominantes são canalizados em direção à cidade em função da topografia e da disposição da malha urbana.

4.2 Descrição e caracterização da edificação

O Centro de Tecnologia da UFSM está situado próximo à entrada do Campus Universitário (Figura 4.7), acessível diretamente pela avenida principal de acesso à Universidade, implantado longitudinalmente segundo a direção dos eixos Norte-Sul. A partir desta configuração salienta-se que as fachadas de maior dimensão estão orientadas segundo as direções Leste-Oeste, iluminando e ventilando praticamente todos os espaços internos do edifício. As edificações que seguem características construtivas semelhantes ao objeto deste estudo apresentam semelhante implantação.

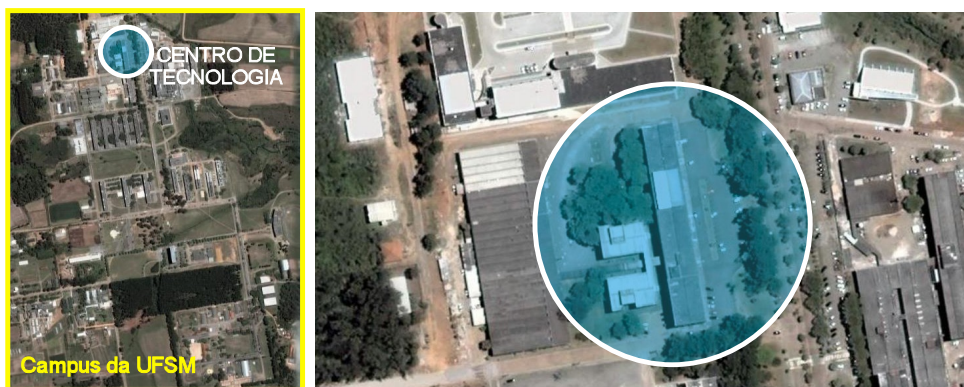


Figura 4.7 – Localização do edifício no Campus da UFSM

Fonte: Google earth, 2009.

Construção em formato retangular da década de 1960/70 está conformada externamente por paredes em alvenaria de blocos cerâmicos maciços e estrutura em concreto armado. As paredes externas são rebocadas externa e internamente e revestidas na parte externa, ora com placas cerâmicas, ora com pintura acrílica. A Figura 4.8 ilustra essa caracterização.



Figura 4.8 – Levantamento fotográfico das fachadas da edificação

O edifício apresenta uma área física que agrega basicamente espaços administrativos e de ensino, destinados às coordenações de cursos, departamentos, grupos de pesquisas, laboratórios, salas de aula, biblioteca setorial, lancheria e espaços de convivência. Os ambientes, condicionados artificialmente ou naturalmente ventilados, estão distribuídos em três pavimentos e em parte do pavimento de cobertura, como mostram as Figuras 4.9 e 4.10.

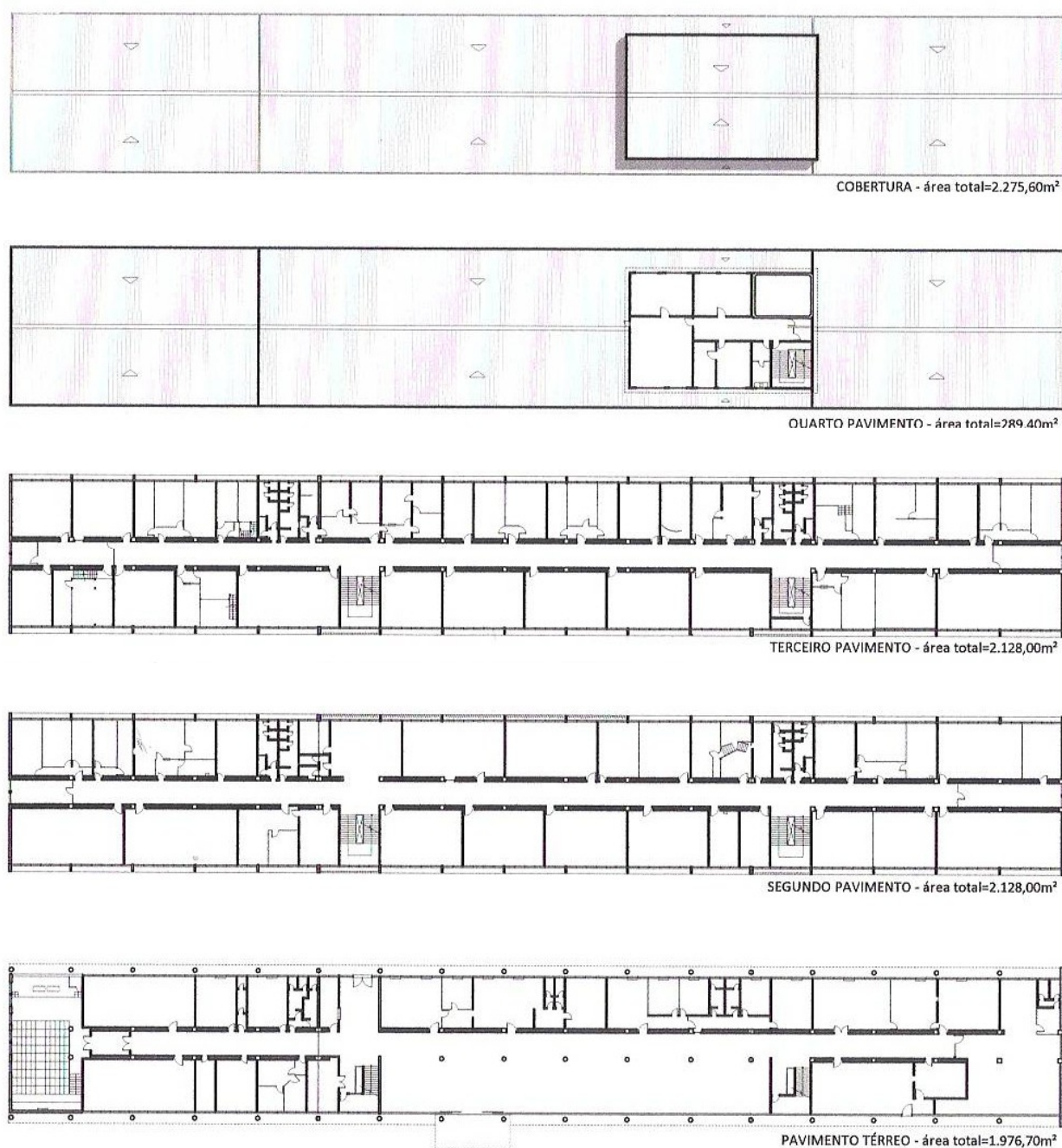


Figura 4.9 – Levantamento físico do edifício – plantas baixas

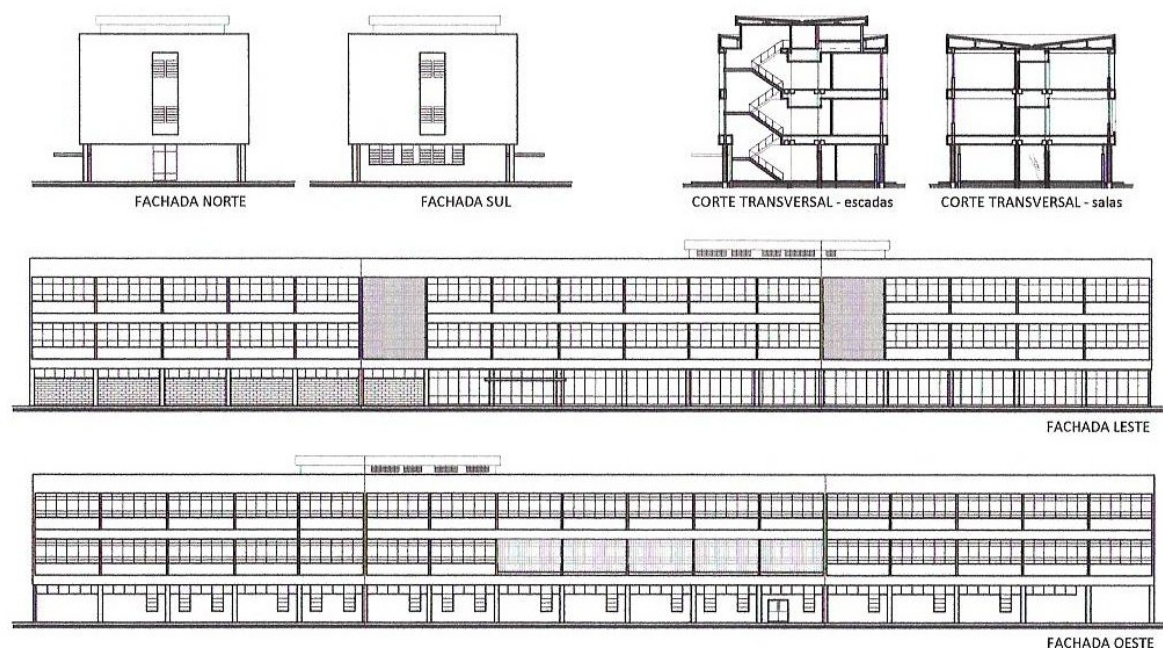


Figura 4.10 – Levantamento físico do edifício – cortes e fachadas

As esquadrias são metálicas com acabamento em pintura e os fechamentos transparentes são compostos por vidros planos e incolores. As circulações verticais acontecem somente por meio de escadas e são protegidas da radiação solar por meio de elementos fixos (cobogó); e as proteções solares identificadas na fachada oeste são constituídas por brises móveis, com movimentação simultânea de um conjunto de 8 barras verticais. A Figura 4.11 ilustra a geometria das proteções.



Figura 4.11 – Proteções solares nas fachadas oeste e leste, respectivamente

O sistema de cobertura é composto basicamente por duas águas recobertas com telhas de fibrocimento, distribuídas longitudinalmente ao longo do edifício.

5 RESULTADOS

Os resultados obtidos a partir do levantamento de dados e da aplicação da metodologia indicam neste capítulo os níveis de classificação parciais e final da edificação e o atendimento aos pré-requisitos gerais e específicos, estabelecidos no Regulamento.

5.1 Classificação parcial do requisito Envolvória

5.1.1 Transmitância térmica das paredes externas

As características construtivas que determinaram o resultado final do valor da transmitância térmica das paredes externas (U_{par}) são apresentadas na Figura 5.1.

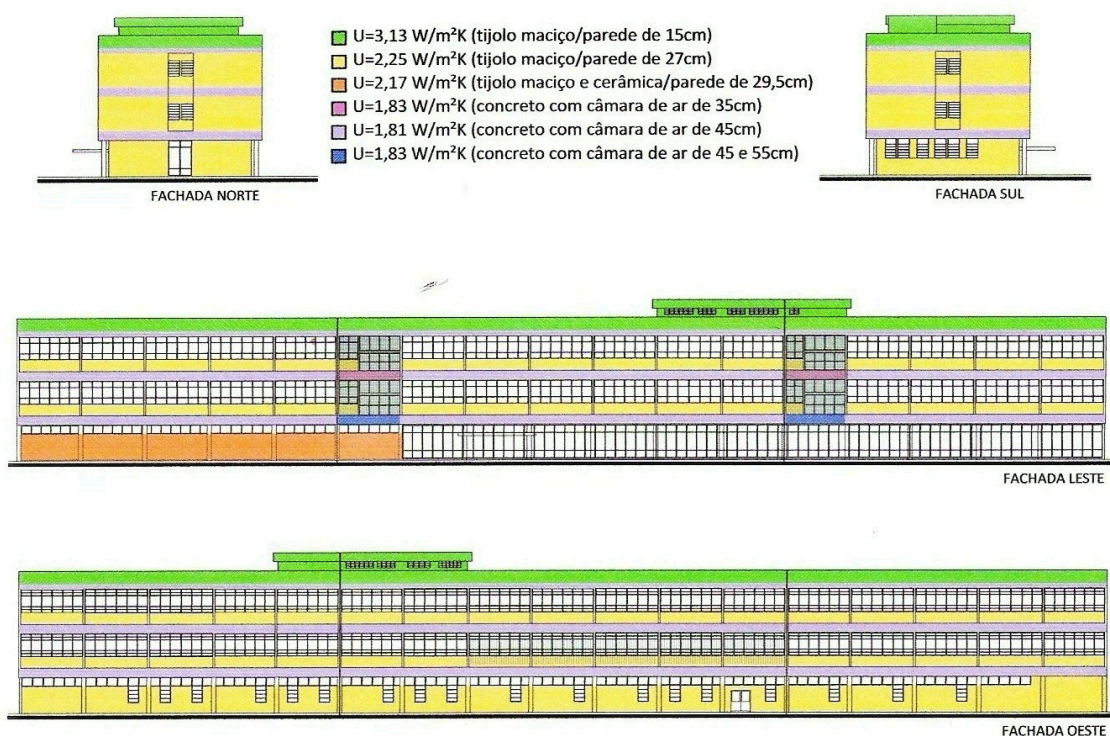


Figura 5.1 – Características construtivas das paredes externas

Os valores totais de U para cada composição, ponderado pelas respectivas áreas, como indica a Tabela 5.1, resultam no valor total para a transmitância térmica das paredes externas em 2,30 W/m²K.

Tabela 5.1 – Características das composições das paredes externas

COMPOSIÇÃO	ESPESSURA TOTAL (cm)	ÁREA (m ²)	U (W/m ² K)	%
reboco-tijolo maciço-reboco	27	1574,86	2,25	51,64
reboco-tijolo maciço-reboco	15	576,48	3,13	18,90
reboco-tijolo maciço-cerâmica	29,50	133,80	2,17	4,39
concreto-ar-concreto	(10+45+25)=80	735,72	1,81	24,13
concreto-ar-concreto-ar-concreto	(10+55+25+45+10)=145	14,30	1,25	0,47
concreto-ar-concreto	(10+35+25)=70	14,30	1,83	0,47
TOTAL		3049,46	2,30	

De acordo com os limites estabelecidos no Regulamento (INMETRO, 2009), o resultado da transmitância térmica das paredes atende ao pré-requisito referente ao nível A, que estabelece um limite máximo para a transmitância térmica das paredes externas de 3,7 W/m²K.

5.1.2 Transmitância térmica da cobertura

A composição inclinada do sistema de cobertura sem ventilação da câmara de ar, apresentando telha de fibrocimento com espessura de 0,7 cm e laje de concreto de 12 cm, conforme ilustra a Figura 5.2, determinou o cálculo da transmitância térmica segundo o procedimento estabelecido pela NBR 15220-2 (ABNT, 2005b).

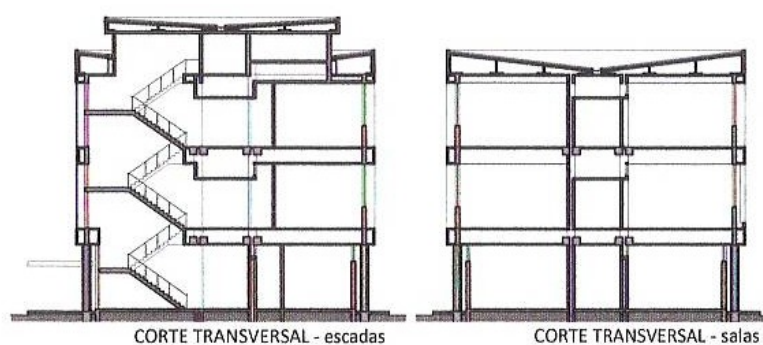


Figura 5.2 – Cortes do edifício mostrando a configuração da cobertura

A análise quanto ao pré-requisito transmitância térmica da cobertura, segundo o Regulamento (INMETRO, 2009), deve considerar separadamente os ambientes condicionados artificialmente e os ambientes não condicionados. A Figura 5.3 evidencia as referidas áreas.

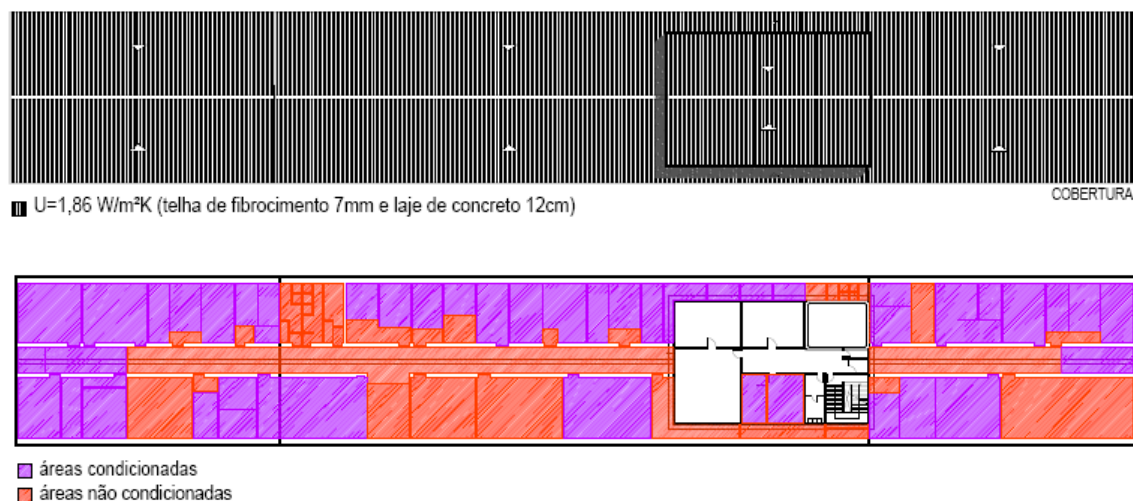


Figura 5.3 – Áreas condicionadas e não condicionadas sob a cobertura

Independentemente da condição de ventilação do ambiente, a composição uniforme da cobertura resultou no valor da transmitância térmica de 1,86 W/m²K, calculado conforme a NBR 15220-3 (ABNT, 2005), atendendo ao pré-requisito do nível de classificação C. Os valores limites deste nível (INMETRO, 2009) para a transmitância térmica da cobertura são de 2,0 W/m²K para qualquer ambiente ou ZB.

5.1.3 Cor e absorvância solar das paredes externas

As propriedades referentes à cor e absorvância solar (a) das paredes externas são indicadas na Tabela 5.2, segundo o tipo de material e a coloração das superfícies.

Tabela 5.2 – Acabamento e valor da Absortância Solar das áreas das fachadas

ACABAMENTO DA SUPERFÍCIE	MARCA	COR	ÁREA (m ²)	a	%
TINTA ACRÍLICA FOSCA SOBRE REBOCO	Sherwin Williams	FLAMINGO_laranja claro	1.012,54	0,53	30,71%
TINTA ACRÍLICA FOSCA SOBRE REBOCO	Sherwin Williams	BRANCO	2.150,37	0,20	65,23%
PASTILHA CERÂMICA		VERMELHO escuro	133,80	0,51	4,06%
TOTAL			3.296,71	0,31	

O valor total de 0,31 resultou da ponderação pelas respectivas áreas e atende ao pré-requisito do nível A e B, que apresentam o valor de 0,4 como limite para esse parâmetro. A Figura 5.4 representa graficamente os valores encontrados.

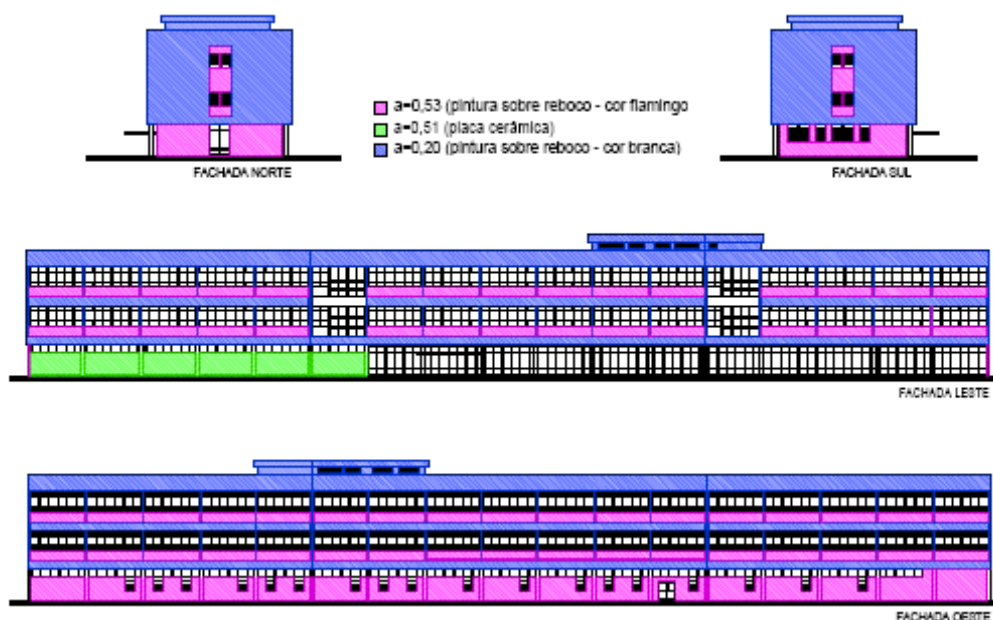


Figura 5.4 – Diferentes tipos de acabamento das áreas das fachadas

5.1.4 Cor e absorvência solar da cobertura

O valor referente à cor e absorvência solar da cobertura ao apresentar uma superfície com telha de fibrocimento em aspecto sujo, totaliza 0,80 (RIVERO, 1986), conforme ilustra a Figura 5.5. O resultado encontrado ultrapassa o valor limite de 0,4 para os níveis A e B. Os níveis C, D e E não apresentam pré-requisito para o parâmetro Absorvência Solar.

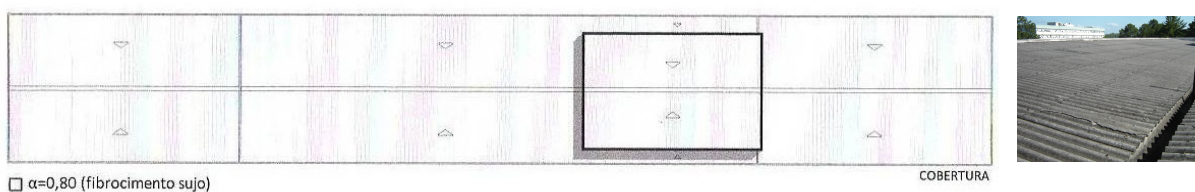


Figura 5.5 – Planta da cobertura e aspecto da telha de fibrocimento

5.1.5 Nível de eficiência da Envoltória

A inserção da edificação na zona bioclimática ZB2 (ABNT, 2005b), a área de projeção do edifício (A_{pe}) superior a 500 m² e o valor do Fator de Forma (FF) da edificação de 0,19 - relação entre a área da envoltória (A_{env}) e o volume total do edifício (V_{tot}), determinaram a seleção da Equação 1 (INMETRO, 2009) para o cálculo do Indicador de Consumo da envoltória (IC_{env}).

$$IC_{env} = -14,14 \cdot FA - 113,94 \cdot FF + 50,82 \cdot PAF_T + 4,86 \cdot FS - 0,32 \cdot AVS + 0,26 \cdot AHS - \frac{35,75}{FF} - 0,54 \cdot PAF_T \cdot AHS + 277,98 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde,

IC_{env} : Indicador de Consumo (adimensional)

AVS: Ângulo Vertical de Sombreamento, entre 0 e 45° (graus)

AHS: Ângulo Horizontal de Sombreamento, entre 0 e 45° (graus)

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

FA: (A_{pe}/A_{tot}), Fator Altura

FS: Fator Solar

PAF_T : Percentual de Abertura na Fachada total (adimensional)

Os ângulos de sombreamento maiores que 45° foram considerados como tal, obedecendo às especificações do Regulamento (INMETRO, 2009). Portanto, os ângulos das proteções solares móveis, presentes na fachada leste, foram incluídos na ponderação por estarem conectadas fisicamente ao edifício e permitirem um deslocamento igual ou maior que 45°. As proteções solares fixas, junto à circulação vertical, não foram contabilizadas na ponderação do cálculo de AHS e AVS em virtude de serem consideradas como pórticos.

As proteções solares, junto à circulação vertical do edifício, foram consideradas como pórticos por serem fixas, estarem conectadas fisicamente à edificação e por sua distância ao plano de vidro não ultrapassar a altura do vão. Portanto, a parcela de vidro a ser contabilizada foi aquela vista ortogonalmente através do pórtico, descontadas as esquadrias.

As características físicas e as propriedades dos materiais que conformam a edificação determinaram os valores dos parâmetros da equação. Os resultados são apresentados na Tabela 5.3 e representados pelas Figuras 5.6 a 5.9. O valor do IC_{env} da edificação resultou num total de 77,4 pontos.

Tabela 5.3 – Resultado dos parâmetros para o cálculo do IC_{env}

PARÂMETRO	TOTAL	UNIDADE
A_{pe}	2.275,60	m ²
A_{tot}	6.522,10	m ²
A_{env}	6.989,98	m ²
AHS	6,23	° (graus)
AVS	18,56	° (graus)
FA	0,35	-
FF	0,19	-
FS	0,68	-
PAF_T	0,32	-
V_{tot}	37.329,74	m ³
RESULTADO FINAL $IC_{env} = 77,4$		NÍVEL C

Especificamente, em relação ao Percentual de Abertura na Fachada total (PAF_t), primeiramente foi calculado o PAF da fachada oeste (PAF_o), pois caso o valor encontrado fosse 20% maior que o valor de PAF_t , o resultado a ser utilizado para o parâmetro PAF da fórmula deveria ser o valor do percentual da fachada oeste e não o valor do percentual total.

(m ²)	EDIFÍCIO	FACHADA LESTE	FACHADA OESTE	FACHADA NORTE	FACHADA SUL
vidro	1520,42	827,42	655,60	16,44	20,96
fachada	4714,38	2030,42	2030,42	326,77	326,77

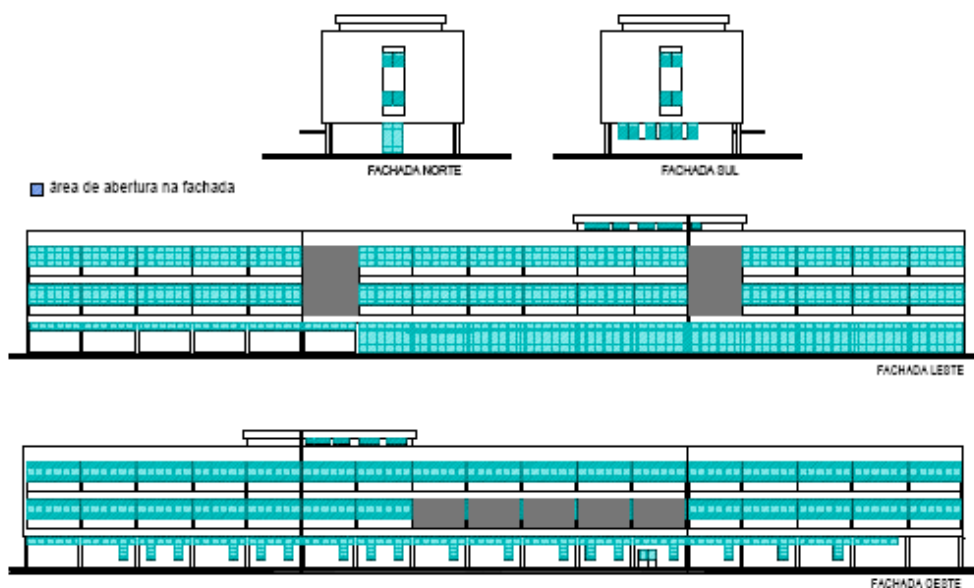


Figura 5.6 – Percentual de Abertura na Fachada Total (PAF_T)

FS	0,68	0,87	0,60	0,40	0,25
Área (m ²)	1848,70m ²	632,27	938,64	92,50	90,83
%	100	34,20	50,77	5,00	4,91

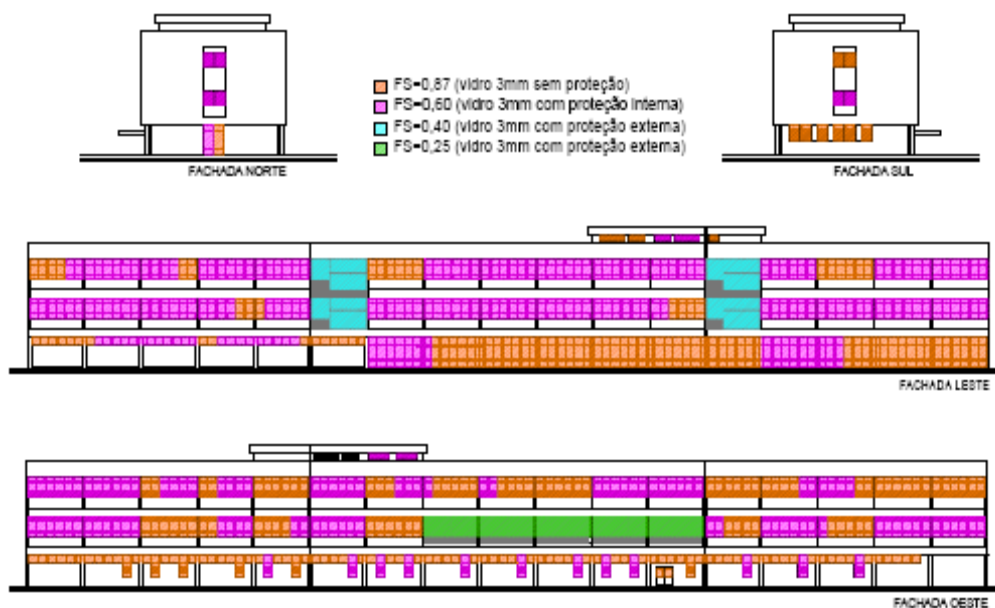


Figura 5.7 – Fator Solar das aberturas nas diferentes fachadas (FS)

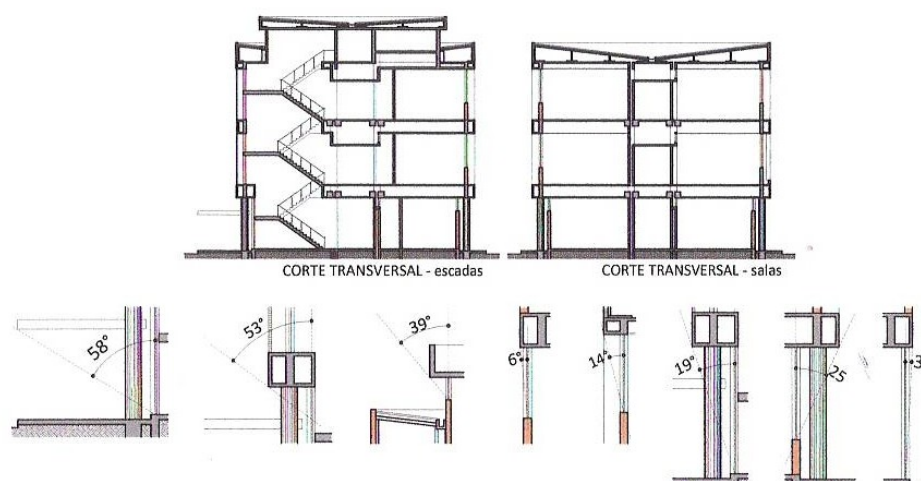


Figura 5.8 – Ângulo Horizontal de Sombreamento das aberturas (AHS)

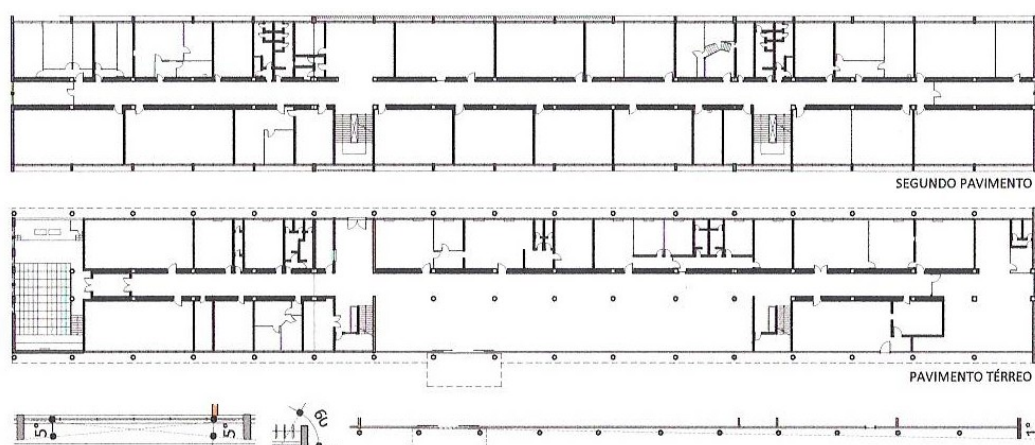


Figura 5.9 – Ângulo Vertical de Sombreamento das aberturas (AVS)

Os valores limites para o Indicador de Consumo da volumetria foram calculados a partir da Equação 1, porém adotando-se os parâmetros da Tabela 5.4 para o cálculo do limite máximo ($IC_{máxD}$) e da Tabela 5.5 para o limite mínimo ($IC_{mín}$).

Tabela 5.4 – Parâmetros do $IC_{máxD}$

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

Fonte: INMETRO, 2009.

Tabela 5.5 – Parâmetros do $IC_{mín}$

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

Fonte: INMETRO, 2009.

O resultado dos indicadores máximo e mínimo determina, a partir do valor de (i) da Equação 2 (INMETRO, 2009), o intervalo dos limites dos níveis de classificação da eficiência para a volumetria do edifício, apresentados na Tabela 5.6.

$$i = \frac{(IC_{máxD} - IC_{mín})}{4} \quad (\text{Equação 2})$$

Tabela 5.6 – Limites dos intervalos dos níveis de eficiência

Eficiência	A	B	C	D	E
Lim Mín	-	$IC_{máxD} - 3i + 0,01$	$IC_{máxD} - 2i + 0,01$	$IC_{máxD} - i + 0,01$	$IC_{máxD} + 0,01$
Lim Máx	$IC_{máxD} - 3i$	$IC_{máxD} - 2i$	$IC_{máxD} - i$	$IC_{máxD}$	-

Fonte: INMETRO, 2009.

Os valores referentes a cada nível de eficiência para a volumetria da edificação são apresentados na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 – Resultado dos valores limites para cada nível de eficiência

Eficiência	A	B	C	D	E
Lim Mín	-	76,68	83,35	90,02	96,69
Lim Máx	76,67	83,34	90,01	96,68	-

Fonte: INMETRO, 2009.

Logo, a comparação do valor final do Indicador de Consumo da envoltória (IC_{env}) equivalente a 77,4 em relação aos referidos intervalos, indica o nível de classificação B para a eficiência energética do requisito Envoltória. Porém, o não atendimento ao pré-requisito Absortância Solar da cobertura, reduz o nível de classificação final do requisito Envoltória ao nível C.

Este nível, quando comparado à Tabela 5.8, estabelece o valor 3 para o Equivalente Numérico da Envoltória (EqNumEnv).

Tabela 5.8 – Equivalente numérico para cada nível de eficiência (EqNum)

A	B	C	D	E
5	4	3	2	1

Fonte: INMETRO, 2009.

5.2 Classificação parcial do requisito Sistema de Iluminação

5.2.1 Divisão dos circuitos

Todos os ambientes apresentaram pelo menos um dispositivo de controle manual para acionamento independente do sistema, atendendo ao pré-requisito.

5.2.2 Contribuição da luz natural

O pré-requisito quanto ao controle do acionamento independente da fileira de luminárias mais próxima às aberturas que proporcionam iluminação natural, esquematizado na Figura 5.10, não foi atendido.



Figura 5.10 – Controle paralelo das luminárias em relação às aberturas
Fonte: Goulart, 2007.

O sistema permite somente o controle das fileiras na direção oposta às aberturas, como indica a Figura 5.11.

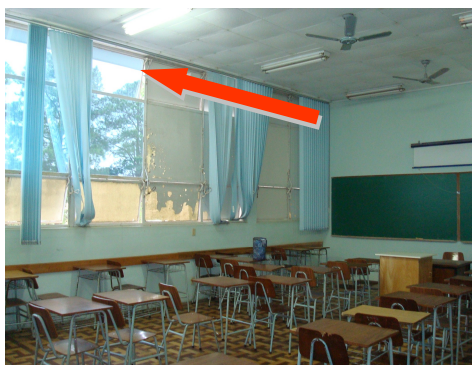


Figura 5.11 – Sistema de controle existente na edificação perpendicular às aberturas

5.2.3 Desligamento automático

O pré-requisito quanto à presença de controle de desligamento do sistema de iluminação não foi atendido, considerando que, em todos os ambientes, os dispositivos são manuais.

5.2.4 Determinação do nível de eficiência do Sistema de Iluminação

O cálculo do índice de ambiente (K) para ambientes retangulares, de acordo com a Equação 3 (INMETRO, 2009), o valor da Densidade de Potência de Iluminação Absoluta (DPI_A) verificado em cada compartimento, bem como a identificação do nível de iluminância (E), segundo a NBR 5413 - Iluminação de Interiores (ABNT, 1992), determinaram os valores da Densidade de Potência de Iluminação Relativa (DPI_R) para cada ambiente.

$$K = \frac{C.L}{h.(C + L)} \quad \text{(Equação 3)}$$

Onde,

K: índice de ambiente (adimensional)

C: comprimento total do ambiente (m)

L: largura total do ambiente (m)

h: altura média entre a superfície de trabalho e o plano das luminárias no teto

h: altura média entre a superfície de trabalho e o teto

A Figura 5.12 ilustra os níveis de iluminância considerados para cada ambiente por pavimento.

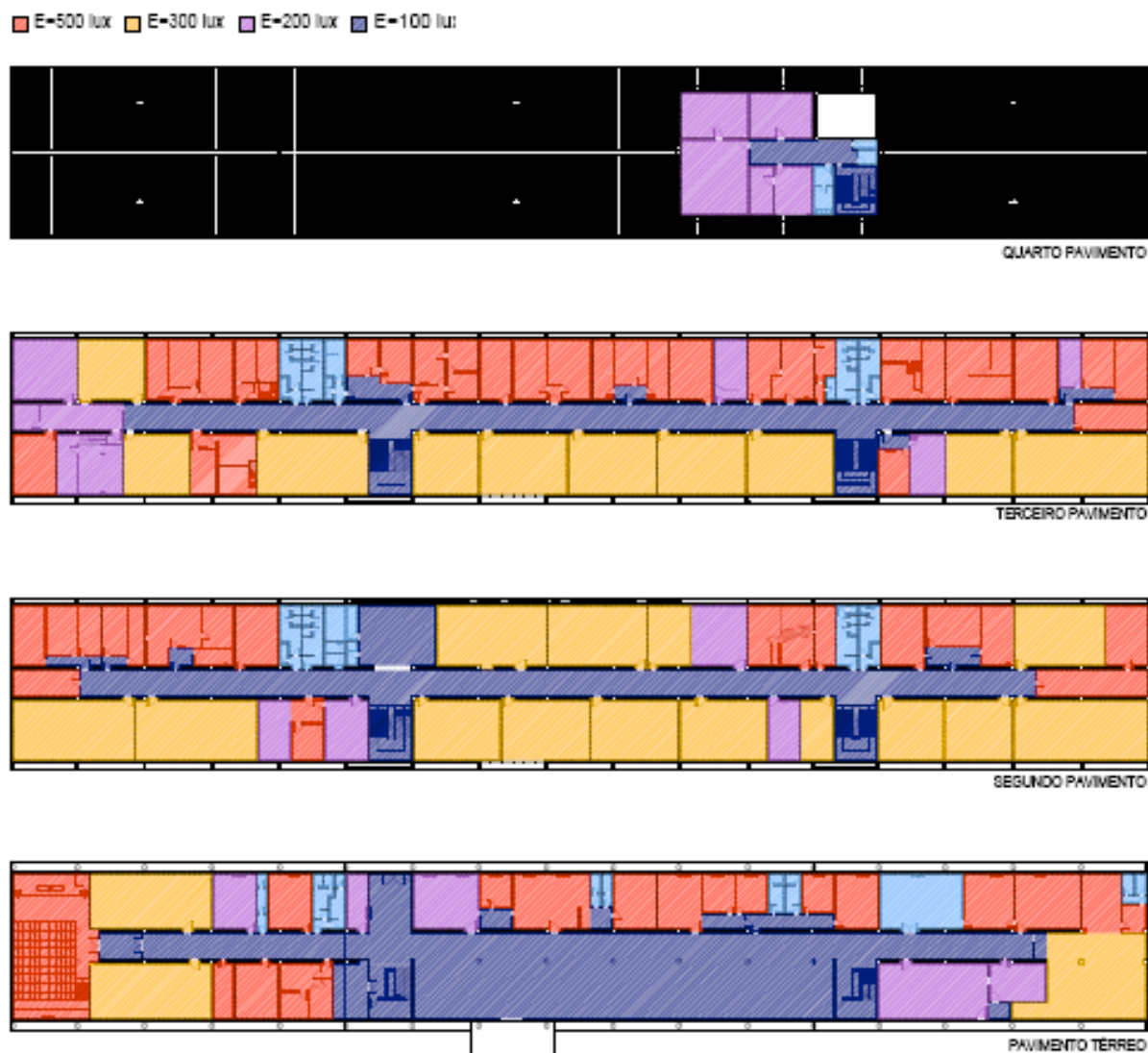


Figura 5.12 – Níveis de iluminância por ambiente em cada pavimento

O sistema de iluminação do edifício está basicamente composto por lâmpadas fluorescentes tubulares de 40 Watts e reatores de 40W, na proporção de um para cada duas lâmpadas.

Os valores do índice K estabeleceram os limites máximos aceitáveis para a Densidade de Potência de Iluminação (DPI_{RL}) para cada nível de eficiência, como mostra a Tabela 5.9. Os dados de K não identificados foram interpolados linearmente, a partir das variáveis indicadas pela Equação 4, para estabelecer os respectivos limites de DPI_{RL} .

Tabela 5.9 – Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPI_{RL}) para o nível de eficiência pretendido

Índice de ambiente K	Densidade de Potência de Iluminação relativa W/m ² /100lux (Nível A)	Densidade de Potência de Iluminação relativa W/m ² /100lux (Nível B)	Densidade de Potência de Iluminação relativa W/m ² /100lux (Nível C)	Densidade de Potência de Iluminação relativa W/m ² /100lux (Nível D)
0,60	2,84	4,77	5,37	6,92
0,80	2,50	3,86	4,32	5,57
1,00	2,27	3,38	3,77	4,86
1,25	2,12	3,00	3,34	4,31
1,50	1,95	2,75	3,00	3,90
2,00	1,88	2,53	2,77	3,57
2,50	1,83	2,38	2,57	3,31
3,00	1,76	2,27	2,46	3,17
4,00	1,73	2,16	2,33	3,00
5,00	1,71	2,09	2,24	2,89

Fonte: INMETRO, 2009.

$$DPI_{RL} = DPI_{RL\min} \frac{(k - k_{\min}) \cdot (DPI_{RL\max} - DPI_{RL\min})}{(K_{\max} - K_{\min})} \quad (\text{Equação 4})$$

A comparação entre os valores da Densidade de Potência de Iluminação Relativa (DPI_R) e da Densidade de Potência de Iluminação (DPI_{RL}) indicou o nível de eficiência para cada ambiente e seus respectivos equivalentes numéricos.

O resultado obtido de 1,43 foi calculado a partir da ponderação dos equivalentes numéricos de cada ambiente pelas respectivas áreas (Tabela 5.10), indicando o nível E para a eficiência do sistema de iluminação e o conseqüente valor 1 para o equivalente numérico do sistema de iluminação (EqNumDPI), conforme determina a Tabela 5.8.

Tabela 5.10 – Equivalente numérico do sistema de iluminação

PARÂMETRO	TÉRREO	SEGUNDO	TERCEIRO	QUARTO	TOTAL
Eq. Num.	1,49	1,31	1,53	1,00	1,43
Área (m ²)	1.806,17	1.913,03	1.902,88	233,40	5.855,48
NÍVEL	E	E	E	E	E

5.3 Classificação parcial do requisito Sistema de Condicionamento de Ar

5.3.1 Pré-requisitos sombreamento e ventilação permanente

O pré-requisito relativo ao sombreamento dos aparelhos condicionadores de ar não foi atendido, considerando que todos se encontram expostos à radiação solar. Esta verificação determina o nível B como limite máximo a ser atribuído para cada equipamento.

Em relação ao pré-requisito ventilação, os equipamentos são ventilados adequadamente e, portanto, atendem ao pré-requisito.

A Figura 5.13 representa as áreas condicionadas e não condicionadas da edificação.

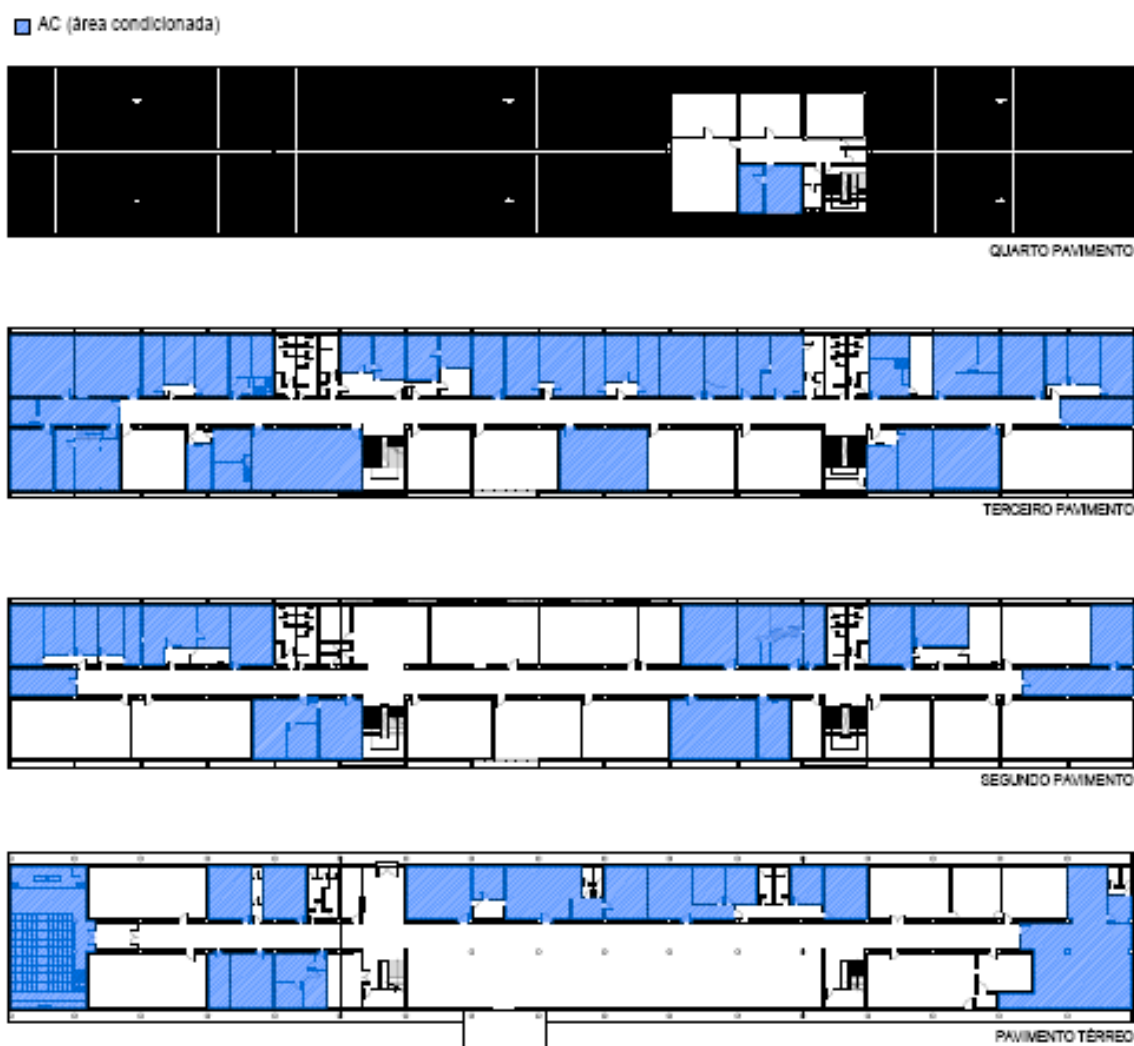


Figura 5.13 – Áreas condicionadas e não condicionadas

5.3.2 Determinação do nível de eficiência do Sistema de Condicionamento de Ar

A identificação das características de cada aparelho comparadas às tabelas do PBE (INMETRO, 2008) indicou os valores da eficiência de cada aparelho, apresentados na Figura 5.14.



Figura 5.14 – Nível de eficiência dos equipamentos por ambiente

O nível de eficiência final de cada equipamento dos ambientes foi condicionado pelo atendimento ao pré-requisito sombreamento.

O somatório dos coeficientes de ponderação das eficiências pela área de cada ambiente, multiplicados pelos respectivos equivalentes numéricos resultou num valor de 3,28 que indica o nível C para a classificação parcial da eficiência do sistema. Logo o Equivalente Numérico do Sistema de Condicionamento de Ar (EqNumCA), segundo a Tabela 5.8, corresponde a 3 pontos.

5.4 Classificação geral do nível de eficiência da edificação

5.4.1 Bonificações

A edificação não apresenta soluções que visam aumentar sua eficiência. Portanto, a pontuação referente à variável bonificações (b) é nula.

5.4.2 Pré-requisitos gerais

Conforme descrito no item 3.5.2 da metodologia, o atendimento aos pré-requisitos gerais foi desprezado.

5.4.3 Pré-requisitos específicos

A edificação atende aos pré-requisitos específicos da classificação geral, considerando que os requisitos específicos dos quesitos Envoltória (5.1), Sistema de Iluminação (5.2) e Sistema de Condicionamento de Ar (5.3) são atendidos parcial ou totalmente. Logo, os equivalentes numéricos de cada quesito correspondem exatamente aos resultados encontrados nos respectivos itens.

5.4.4 Pontuação Total (PT)

A determinação do nível de classificação da eficiência energética da edificação como um todo é determinada pela distribuição de pesos específicos para cada um dos três requisitos parcialmente classificados:

- Envoltória = 30%
- Sistema de Iluminação = 30%
- Sistema de Condicionamento de Ar = 40%

A Equação 5, que determina a pontuação total obtida pela edificação, apresenta as seguintes variáveis:

$$PT = 0,30 \cdot \left\{ \left(\text{EqNumEnv} \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 0,5 + \frac{ANC}{AU} \cdot \text{EqNumV} \right) \right\} + 0,30 \cdot (\text{EqNumDPI}) + 0,40 \cdot \left\{ \left(\text{EqNumCA} \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 0,5 + \frac{ANC}{AU} \cdot \text{EqNumV} \right) \right\} + b_0^1$$

(Equação 5)

Onde,

PT: pontuação total

EqNumEnv: equivalente numérico da envoltória

EqNumDPI: equivalente numérico do sistema de iluminação

EqNumCA: equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar

EqNumV: equivalente numérico dos ambientes não condicionados e/ou ventilados naturalmente

APT: área de piso dos ambientes de permanência transitória não condicionados

ANC: área de piso dos ambientes não condicionados de permanência prolongada

AC: área de piso dos ambientes condicionados

AU: área útil total da edificação

b: pontuação das bonificações

A variável EqNumV foi extraída da Tabela 5.11, estipulando-se que os ambientes de permanência prolongada não condicionados proporcionam temperaturas dentro da zona de conforto em um percentual de horas ocupadas igual ou inferior a 60%.

Tabela 5.11 – Equivalentes numéricos para ventilação natural

Percentual de Horas Ocupadas em Conforto	EqNumV	Classificação Total
POC = 80%	5	A
70% = POC < 80%	4	B
60% = POC < 70%	3	C
50% = POC < 60%	2	D
POC = 60%	1	E

Fonte: INMETRO, 2009.

A Figura 5.15 identifica as áreas de piso dos ambientes de permanência transitória não condicionados (APT) e as áreas de piso dos ambientes não condicionados de permanência prolongada (ANC).

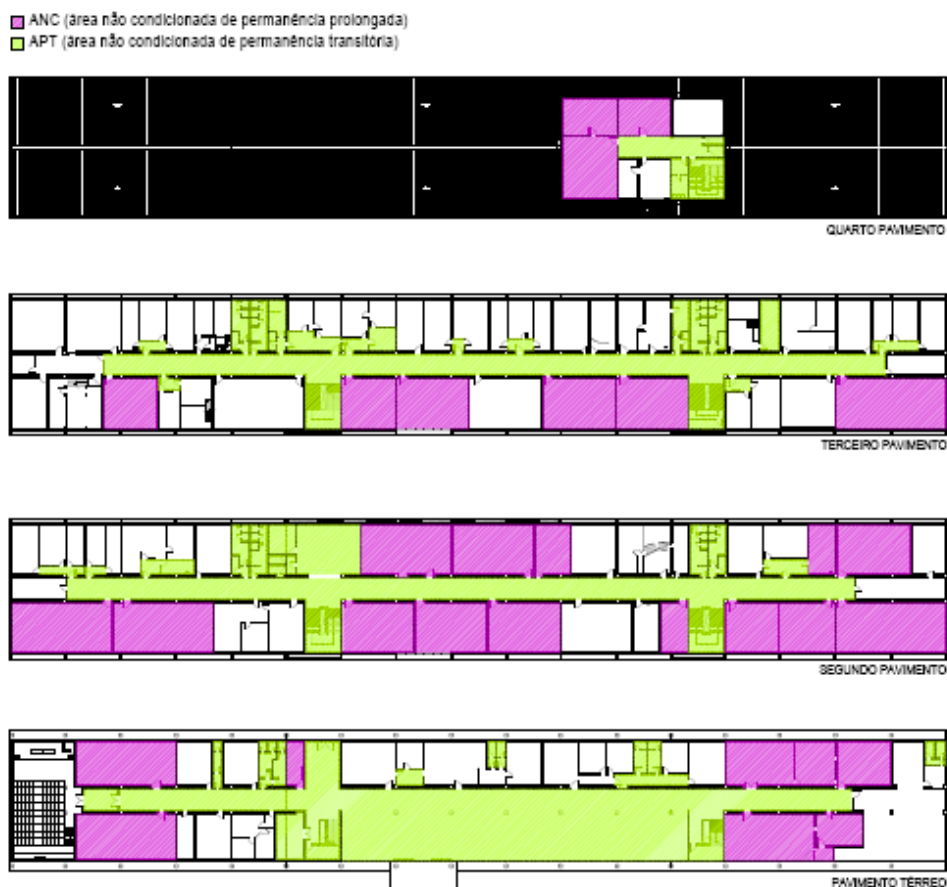


Figura 5.15 – Áreas não condicionadas em cada pavimento – APT e ANC

A classificação do nível de eficiência energética da edificação, segundo aplicação dos resultados da tabela 5.12 na equação PT, determinou o valor numérico de 2,58 para o edifício como um todo.

Tabela 5.12 – Resultado das variáveis da equação da classificação geral

PARÂMETRO	RESULTADO	NÍVEL
EqNumEnv	3,00	C
EqNumDPI	1,43	E
EqNumCA	3,28	C
EqNumV	1,00	E
APT	1.821,51	-
ANC	1.777,10	-
AC	2.256,87	-
AU	5.855,48	-
b	0	-
PT	2,58	C

A comparação do resultado da pontuação total de 2,58 pontos aos limites da Tabela 5.13, indicou o nível C para a classificação final do edifício. Cabe ressaltar que o resultado numérico encontrado apresenta um valor muito próximo do limite máximo para o nível D.

Tabela 5.13 – Classificação Geral

Classificação Geral	A	B	C	D	E
PT (pontuação total)	5 a = 4,5	4,5 a = 3,5	3,5 a = 2,5	2,5 a = 1,5	< 1,5

Fonte: INMETRO, 2009.

6 ANÁLISE DE RESULTADOS

A aplicação do Regulamento Técnico da Qualidade para Etiqueta de Nível de Eficiência Energética do edifício do Centro de Tecnologia da UFSM e os resultados encontrados permitiram a avaliação do método prescritivo segundo os requisitos estabelecidos para a classificação dos níveis de eficiência parciais e geral da edificação.

O método estabelece limites para as propriedades dos materiais e componentes da envoltória da edificação, indicando parâmetros mínimos a serem atendidos, e fornece as condições de instalação e de uso dos sistemas de iluminação e de condicionamento de ar, ao estabelecer o cumprimento a determinados pré-requisitos que descrevem estas condições e parâmetros.

A análise dos requisitos - Envoltória, Sistema de Iluminação e Sistema de Condicionamento de Ar, é apresentada a partir da avaliação da influência das variáveis responsáveis pelos resultados dos níveis de classificação e consideradas passíveis de alteração a partir de cenários hipotéticos.

A Tabela 6.1 resume os níveis de classificação parciais e final alcançados pelo edifício.

Tabela 6.1 – Classificações parciais e final dos níveis de eficiência

CLASSIFICAÇÃO PARCIAL	NÍVEL
Envoltória	C
Sistema de Iluminação	E
Sistema de Condicionamento de Ar	C
CLASSIFICAÇÃO GERAL	NÍVEL
Edificação	C

A avaliação da aplicabilidade da metodologia para utilização do ponto de vista da prática arquitetônica e o atendimento aos pré-requisitos gerais e específicos são comentadas no decorrer das seções.

6.1 Cenários de análise e condições de aplicação do requisito Envoltória

A avaliação do nível de classificação do requisito Envoltória permite observar que, para a manutenção das configurações dimensionais do edifício, a variável do Indicador de Consumo que se torna passível de alteração consiste no Fator Solar (FS). A partir daí foram testadas variações com diferentes valores de FS para aquelas superfícies que apresentam o valor mais elevado de Fator Solar e que possuem participação significativa no cálculo ponderado pelas respectivas áreas do resultado final dessa variável. A Tabela 6.2 ilustra e destaca esses valores.

Tabela 6.2 – Valores de Fator Solar das aberturas da edificação

FS	ÁREA (m ²)	%
0,25	90,83	4,91
0,40	92,50	5,00
0,60	938,64	50,77
0,87	726,75	39,31

A especificação dos materiais a serem substituídos foi baseada na seleção dos tipos de vidro considerados relevantes quanto às suas propriedades térmicas e seletivas e que se apresentam disponíveis no mercado. Outras opções, que determinam a alteração do valor de FS a partir de soluções combinadas com elementos de proteção interna e externa, poderiam ser testadas. Porém, reiterando a intenção de permanecerem intactas as dimensões dos elementos que definem a envoltória, estas opções foram descartadas.

Os impactos das variações sobre o resultado do Indicador de Consumo (IC_{env}) e possível elevação do nível de eficiência da envoltória são apresentados na Tabela 6.3. Lembra-se que os valores dos demais parâmetros da equação do cálculo do Indicador foram considerados invariáveis para a situação verificada.

Tabela 6.3 – Variação do Fator Solar para as aberturas com FS=0,87 e o impacto sobre o IC_{env}

ESPECIFICAÇÃO	FS	FS (ponderado)	IC_{env}	IC_{env} (Nível A)	IC_{env} (Nível B)
vidro refletivo 4 mm	0,41	0,50	76,52		
vidro antelio verde 4 mm	0,47	0,52	76,62	= 76,67	=76,68
vidro verde 6 mm	0,57	0,56	76,81		= 83,84
vidro verde 4 mm	0,64	0,59	76,96		

A situação demonstra as variações testadas e permite concluir que é possível elevar o nível atingido pela envolvente, sem modificar as características dimensionais de seus elementos, trabalhando basicamente com as características das superfícies envidraçadas.

Ressalta-se, no entanto, a necessidade de uma análise financeira das soluções, avaliando-se a relação custo-benefício entre a opção de manter o dimensionamento dos elementos ou trabalhar com a contribuição das proteções solares externas ou internas para a alteração dos valores de FS. Ainda, as condições de conforto ambiental que as diferentes opções proporcionam não foram avaliadas, limitando-se a análise da variável FS para a elevação do nível do Indicador de Consumo.

6.1.1 Atendimento aos pré-requisitos da Envoltória

As condições de atendimento aos pré-requisitos Transmitância Térmica e Absortância Solar, exibidos na Tabela 6.4, permitem observar que a edificação, objeto deste estudo, seguiria as prescrições do nível mais elevado proposto pelo Regulamento, demonstrando a eficiência das características dos seus elementos construtivos, caso fosse atendido o pré-requisito para a variável Absortância Solar da cobertura.

Tabela 6.4 – Condições de atendimento aos pré-requisitos específicos da Envoltória

PRÉ-REQUISITOS ESPECÍFICOS	CONDIÇÃO
Transmitância térmica das paredes	A
Transmitância térmica da cobertura	A
Absortância Solar das paredes	A
Absortância Solar da cobertura	*

* A absortância solar da cobertura não apresenta um nível de classificação específico, pois não atende aos pré-requisitos do nível A ou B e as demais escalas, C, D ou E não especificam restrições.

O valor de a equivalente a 0,80 para a cobertura, sendo superior ao valor restritivo de 0,4 para os níveis A ou B, limita ao nível C a classificação que pode ser atingida pela envolvente. Logo, a alteração da propriedade térmica da cobertura

quanto à variável Absortância Solar para valores inferiores a 0,40 permitiriam a elevação do nível de eficiência da envoltória. Observa-se que para atender a essa condição não seriam necessárias medidas de grande impacto, considerando, por exemplo, uma solução de pintura da superfície externa da telha de fibrocimento com uma cor branca.

Os resultados indicados corroboram, portanto, a importância das variáveis Transmitância Térmica e Absortância Solar para o requisito envoltória, na medida em que os critérios restritivos e as condições de atendimento aos pré-requisitos específicos influenciam na determinação do limite de classificação do nível de eficiência energética.

6.1.2 Condições de aplicação do Regulamento para o requisito Envoltória

A experiência prática de aplicação do Regulamento para o requisito envoltória permite destacar, sob o ponto de vista do tipo de informação requerida, que a metodologia exige o prévio registro, detalhado e organizado, das características construtivas e dimensionais da envolvente em sua totalidade. Essa condição, para edificações existentes, torna-se bastante complexa na medida em que raramente encontram-se disponíveis e, principalmente atualizados, os dados que representam fielmente a configuração do edifício. Evidente que as informações poderão ser levantadas *in loco*, porém se tornam dependentes da acessibilidade aos elementos, por vezes dificultada pelas condições do entorno ou mesmo da própria edificação, o que interfere no trabalho e no tempo envolvidos para a preparação e registro prévio desses dados.

Sob o enfoque da disponibilidade das informações relativas às propriedades térmicas dos materiais, o incipiente registro normativo e divulgação dessas características poderão retardar o processo de classificação. Considerando a realidade da demanda atual por ferramentas e métodos com rapidez de aplicação e operacionalização, essa condição poderá prejudicar a incorporação do Regulamento para aplicação em edifícios existentes.

Em uma discussão mais abrangente, a análise quanto à aplicação do método prescritivo como ferramenta de projeto permite observar que o nível das informações solicitadas, tanto gráficas como textuais, correspondem praticamente à etapa de

projeto executivo de um edifício, dificultando o uso da metodologia para o estudo de soluções ainda na fase de concepção do projeto.

Cabe também lembrar que a intrínseca compatibilização entre as etapas que envolvem a proposta de uma edificação, a disponibilidade e a acessibilidade de recursos técnicos e humanos são dependentes do perfil de cada local, cidade ou região de abrangência. Ainda sob esse enfoque, algumas realidades e talvez a maioria delas não apresenta a necessária condição de desenvolvimento da visão holística, dinâmica e multidisciplinar do processo de projeto. A submissão de um edifício a este Regulamento necessitará esta visão mais abrangente, favorecendo o trabalho em equipe dos profissionais envolvidos.

6.2 Cenários de análise e condições de aplicação do requisito Sistema de Iluminação

O nível E, menos eficiente, do requisito Sistema de Iluminação, determinado pelo resultado do cálculo da densidade de potência dos ambientes e pela análise do cumprimento aos pré-requisitos específicos, demonstra a necessidade de uma reestruturação do sistema.

Medidas que garantiriam a melhoria do nível de eficiência atingido dependem de uma avaliação prévia das variáveis que são responsáveis pelo resultado obtido e passíveis de alteração para um edifício em uso e com características dimensionais consolidadas. O parâmetro que se enquadra nessa possibilidade se refere à Densidade de Potência Instalada de cada ambiente, que estabelece uma relação entre a área do ambiente e as características dos componentes do sistema de iluminação como reatores, lâmpadas e luminárias.

Sob este enfoque recomenda-se que as características dos componentes do sistema devam ser alteradas para que respeitem os limites de potência e forneçam os níveis de Iluminância mínimos recomendados pela NBR 5413 (ABNT, 1992). Essas alterações permitiriam ao edifício atingir um nível de eficiência superior em escala gradativa, a considerar o planejamento dos recursos financeiros e humanos necessários à sua implementação.

A Tabela 6.5 indica os valores dos Equivalentes Numéricos e dos correspondentes níveis de eficiência que o Sistema de Iluminação poderia alcançar, substituindo-se somente aqueles equivalentes dos ambientes que obtiveram resultado igual a 1 (Apêndice A) pelos valores do equivalente para cada nível de eficiência, estabelecidos no Regulamento (Tabela 5.8) e sem considerar a análise de atendimento dos pré-requisitos.

Tabela 6.5 – Relação da variação dos valores de EqNumDPI sobre o nível de eficiência

PAVIMENTO	EqNumDPI (referência)	% alterado	EqNumDPI (2)	EqNumDPI (3)	EqNumDPI (4)	EqNumDPI (5)
TÉRREO	1,49	78,3	2,28	3,06	3,84	4,63
SEGUNDO	1,31	84,8	2,16	3,01	3,86	4,71
TERCEIRO	1,53	76,8	2,31	3,09	3,86	4,63
QUARTO	1,00	100	2,00	3,00	4,00	5,00
EqNumDPI	1,43	80,8	2,24	3,05	3,86	4,67
NÍVEL (edifício)	E		D	C	B	A

Observa-se que as alterações dos equivalentes em 80,8% dos ambientes implicam diretamente na elevação do nível de eficiência do requisito Sistema de Iluminação, conforme indica a Figura 6.1.

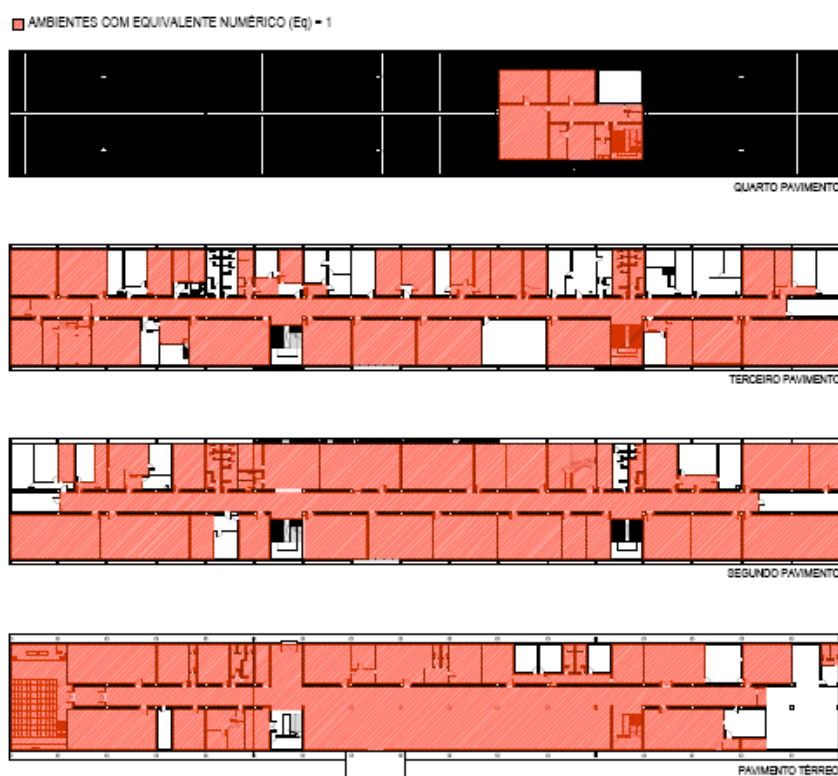


Figura 6.1 – Ambientes com equivalentes numéricos do sistema de iluminação alterados

6.2.1 Atendimento aos pré-requisitos do Sistema de Iluminação

A análise das condições de atendimento aos pré-requisitos específicos do Sistema de Iluminação, como mostra a Tabela 6.6, demonstra que o nível máximo de classificação que poderia ser atingido pelo requisito está limitado ao nível C.

Tabela 6.6 – Condições de atendimento aos pré-requisitos específicos do Sistema de Iluminação

PRÉ-REQUISITOS ESPECÍFICOS	CONDIÇÃO
Divisão dos circuitos	ATENDE
Contribuição da luz natural	NÃO ATENDE
Desligamento automático	NÃO ATENDE

Para que o nível de eficiência energético do requisito Sistema de Iluminação possa atingir níveis superiores de eficiência deve, além da divisão de circuitos, apresentar um sistema de controle integrado às condições de iluminação natural disponível, para alcançar o nível B e, cumulativamente, para atingir o nível A, permitir o desligamento do sistema de iluminação através de dispositivos de controle automático.

O caso da edificação em estudo oferece condições físicas ideais para o aproveitamento da iluminação natural em conjunto com o sistema artificial, considerando que possui praticamente todos os ambientes voltados a um exterior livre de obstáculos. Para incorporar essa estratégia, permitindo um controle integrado e interdependente entre os dois sistemas, é necessário reestruturar os circuitos existentes, o que pressupõe uma avaliação de custo-benefício de sua implantação, considerando a condição do edifício como existente. A partir do resultado dessa avaliação, em caso negativo, seria possível considerar a substituição das instalações no momento em que as condições de funcionamento do sistema apresentarem falhas, que são intrínsecas ao seu prazo de vida útil.

Quanto à exigência para o nível A, relacionada a dispositivos de controle de desligamento automático, ressalta-se que o Regulamento (INMETRO, 2009) especifica essa condição para ambientes com dimensões superiores a 250 m². A verificação da existência destes espaços na edificação analisada, correspondentes às áreas de circulação, determina a adoção de um sistema de desligamento baseado no prévio estudo horário da utilização destes espaços, considerando as condições de permanência nestes locais.

6.2.2 Condições de aplicação do Regulamento para o requisito Sistema de Iluminação

A aplicação do método que envolve a classificação de eficiência do nível do Sistema de Iluminação permite salientar que o Regulamento, ao estar direcionado a edifícios existentes ou em fase de projeto, poderia diferenciar os procedimentos de obtenção do nível de eficiência de acordo com esta característica do objeto. Essa constatação está baseada no fato de que os esclarecimentos das etapas de determinação da eficiência enfatizam as edificações em fase de projeto, o que provocou interpretações duvidosas para sua aplicação em um edifício existente. A determinação da etapa de realização do projeto luminotécnico é um exemplo, na medida em que, para um edifício existente, esta deverá ser desprezada e deverão ser utilizados os dados reais do espaço, a partir de medições no local.

Quanto ao levantamento de dados individuais das características dos componentes do sistema para edificações existentes, percebe-se a dificuldade de acessibilidade a determinados equipamentos ou instalações que podem representar um obstáculo à aplicação do Regulamento.

Em relação às informações que subsidiam a aplicabilidade da metodologia do requisito salienta-se que, tanto para edificações existentes como em fase de projeto, é necessário um detalhamento das especificações dimensionais e descritivas dos espaços e dos equipamentos individualmente. Em contraponto a esta exigência, para que a metodologia possa ser utilizada como ferramenta de projeto, observa-se que o nível de dados parte, sob um enfoque generalizado da prática arquitetônica, de uma etapa posterior àquela de concepção do edifício e que, em determinados casos ou quem sabe na maioria deles, o projeto luminotécnico é desenvolvido independentemente à proposta de arquitetura. Neste caso, deve haver um envolvimento entre os profissionais de maneira que os requisitos necessários à obtenção de determinado nível sejam repassados aos projetistas responsáveis, para que sejam cumpridos.

6.3 Cenários de análise e condições de aplicação do Regulamento para o requisito Sistema de Condicionamento de Ar

A classificação C do nível de eficiência do Sistema de Condicionamento de Ar, ao decorrer diretamente da identificação das características dos aparelhos que compõem o sistema e da verificação do seu nível de eficiência segundo catalogação do INMETRO, permite indicar a substituição dos aparelhos classificados como menos eficientes para considerar o sistema como um todo mais eficiente.

A determinação de que o resultado final do sistema deve estar baseado na ponderação pelas áreas dos ambientes indica que seja procedida a identificação inicial daqueles equipamentos menos eficientes, que condicionam os ambientes com maior representatividade dimensional.

A Tabela 6.7 demonstra a influência da existência de equipamentos menos eficientes na determinação do nível de eficiência do requisito e indica, a partir de cenários relacionados às condições de atendimento do pré-requisito específico sombreamento (PRs) e da alteração dos valores dos equivalentes iguais a 1 (Apêndice B), os limites que determinam os níveis que poderiam ser alcançados pelo Sistema de Condicionamento de Ar.

Tabela 6.7 – Relação da variação dos valores de EqNumCA sobre o nível de eficiência do Sistema de Condicionamento de Ar

CENÁRIO PRs não atendido	EqNumCA (referência)	% alterado	EqNumCA (2)	EqNumCA (3)	EqNumCA (4)	EqNumCA (5)
TOTAL ponderado para o EqNumCA	3,28	24,1	3,52	3,76	4,00	4,24
NÍVEL alcançado do requisito CA	C		B	B	B	B
CENÁRIO PRs atendido	EqNumCA (referência)	% alterado	EqNumCA (2)	EqNumCA (3)	EqNumCA (4)	EqNumCA (5)
TOTAL ponderado para o EqNumCA	3,94	24,1	4,18	4,43	4,67	4,91
NÍVEL alcançado do requisito CA	B		B	B	A	A

(PRs) Pré-Requisito Sombreamento

Percebe-se, portanto, que a atribuição do nível A para o Sistema de Condicionamento de Ar da edificação está condicionada às alterações dos equivalentes numéricos de cada ambiente, a partir da substituição dos equipamentos por outros de maior eficiência, e ao atendimento do pré-requisito sombreamento, comentado no item 6.3.1.

6.3.1 Atendimento aos pré-requisitos do Sistema de Condicionamento de Ar

A condição que permite a um edifício atingir o nível mais eficiente para o requisito está vinculada à proteção dos equipamentos quanto à radiação solar e a sua instalação de maneira que favoreça a ventilação adequada ao funcionamento do sistema mecânico. A Tabela 6.8 demonstra os resultados quanto ao atendimento desses pré-requisitos para os equipamentos da edificação analisada.

Tabela 6.8 – Condições de atendimento aos pré-requisitos específicos do Sistema de Condicionamento de Ar

PRÉ-REQUISITOS ESPECÍFICOS	CONDIÇÃO
Sombreamento	NÃO ATENDE
Ventilação adequada	ATENDE

A importância do atendimento aos pré-requisitos específicos está relacionada ao limite de classificação que poderá ser atribuído aos equipamentos para o nível B, mesmo que individualmente o equipamento apresente o nível mais elevado, segundo a catalogação do INMETRO.

A Figura 6.2 mostra que uma área equivalente a 66,7% do total de ambientes condicionados sofreu alteração dos níveis de eficiência obtidos pelos equipamentos de cada ambiente em função do não atendimento ao pré-requisito sombreamento.



Figura 6.2 – Níveis de eficiência dos ambientes não atendendo ao pré-requisito sombreamento

6.3.2 Condições de aplicação do Regulamento para requisito Sistema de Condicionamento de Ar

A obtenção dos dados relativos a cada equipamento individual condicionador de ar foi viabilizada e facilitada pelo acesso ao banco de dados da Universidade Federal de Santa Maria. Logo, para edificações e estruturas administrativas que não possuem estes sistemas, o levantamento das características dos aparelhos se torna dependente das condições de acessibilidade tanto internas como externas aos equipamentos. Essas circunstâncias podem inviabilizar a classificação do nível de eficiência do requisito para edifício. Para edificações em fase de projeto constata-se a necessidade do prévio detalhamento do projeto de climatização daqueles ambientes dependentes do sistema artificial.

6.4 Cenários de análise e avaliação da aplicabilidade da determinação do nível de eficiência da edificação

O resultado da pontuação total (PT), que determinou o nível C para a classificação da eficiência energética do edifício do Centro de Tecnologia, permite o estabelecimento de estratégias que visam atingir níveis mais elevados de eficiência.

A relevância e a influência das variáveis na equação de determinação do nível de eficiência foram avaliadas a partir de alterações dos resultados dos parâmetros em função da suposição dos equivalentes para os ambientes ventilados naturalmente e do atendimento ao pré-requisito sombreamento. Essas variações foram aplicadas em distintos cenários e indicadas em tabelas.

Primeiramente foi considerada a hipótese de alteração somente dos equivalentes dos ambientes naturalmente ventilados (EqNumV) para as duas condições de atendimento do pré-requisito sombreamento, mantendo-se fixos os resultados das demais variáveis da equação.

Os resultados encontrados demonstram a influência dos equivalentes dos valores dos ambientes ventilados naturalmente sobre a pontuação total (PT) do nível de eficiência do edifício.

Para a condição de não atendimento ao pré-requisito sombreamento, que determina o valor de 3,28 para o EqNumCA, verifica-se que, mesmo que fosse comprovado um percentual igual ou superior a 80% de horas em conforto para os ambientes naturalmente ventilados, representando um incremento de 32,95% ao PT de referência, o nível de eficiência do edifício não sofre variação. A Tabela 6.9 mostra os parâmetros e resultados obtidos para este cenário.

Tabela 6.9 – Cenário real com variação do EqNumV e condição de não atendimento ao pré-requisito Sombreamento (PRs)

PARÂMETRO	REFERÊNCIA	VARIAÇÕES DO EqNumV				
EqNumEnv	3,00					
EqNumDPI	1,43					
EqNumCA	3,28					
EqNumV	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	
APT	1.821,51					
ANC	1.777,10					
AC	2.256,87					
AU	5.855,48					
b	0					
PT	2,58	2,80	3,01	3,22	3,43	
NÍVEL	C	C	C	C	C	

Já, os resultados da condição de atendimento ao PRs, que fixa o valor de 3,94 para o EqNumCA, indicam que, a variação ocorrida no nível de eficiência do edifício e limitada ao nível máximo B, está condicionada ao resultado mais eficiente para o equivalente (EqNumV=5) das áreas ventiladas naturalmente, representando um percentual de 31,72% aplicado sobre o PT. Como mostra a Tabela 6.10, a suposição de valores inferiores a 5 na escala numérica do regulamento, determina a permanência do nível C para a classificação da eficiência da edificação.

Tabela 6.10 – Cenário real com variação do EqNumV e condição de atendimento ao pré-requisito Sombreamento (PRs)

PARÂMETRO	REFERÊNCIA	VARIAÇÕES DO EqNumV				
EqNumEnv	3,00					
EqNumDPI	1,43					
EqNumCA	3,94					
EqNumV	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	
APT	1.821,51					
ANC	1.777,10					
AC	2.256,87					
AU	5.855,48					
b	0					
PT	2,68	2,90	3,14	3,32	3,53	
NÍVEL	C	C	C	C	B	

Sob outro enfoque, foram alterados simultaneamente os valores dos equivalentes das variáveis EqNumEnv, EqNumCA e EqNumDPI, para cada um dos equivalentes numéricos de ventilação natural (EqNumV), considerando as duas condições de atendimento do pré-requisito sombreamento do Sistema de Condicionamento de Ar.

Os valores substituídos para a Envoltória foram supostamente determinados segundo a escala numérica dos níveis de eficiência do Regulamento (Tabela 5.8).

Para as variáveis EqNumDPI e EqNumCA foram adotados os valores apresentados nos itens 6.2 e 6.3, respectivamente.

A partir destas condições, para cada cenário os valores de EqNumEnv, EqNumCA e EqNumDPI foram mantidos fixos (valores destacados em azul), variando-se somente o valor de EqNumV (valores destacados em amarelo), determinando portanto, os diferentes valores de PT em seu respectivo cenário. As Tabelas 6.11 e 6.12 ilustram os cenários analisados e apresentam os resultados encontrados.

Tabela 6.11 – Cenários de análise não atendendo ao PRs

CENÁRIO 1.1					
EqNumEnv	5,00				
AC	2256,87				
AU	5855,48				
APT	1821,51				
ANC	1777,1				
EqNumV	5,00	4,00	3,00	2,00	1,00
EqNumDPI	4,67	(Tabela 6.5 – variação de DPI)			
EqNumCA	4,24	(Tabela 6.7 – variação de CA)			
b	0				
PT	4,78	4,57	4,36	4,15	3,93
CENÁRIO 1.2					
EqNumEnv	4,00				
AC	2256,87				
AU	5855,48				
APT	1821,51				
ANC	1777,1				
EqNumV	5,00	4,00	3,00	2,00	1,00
EqNumDPI	3,86	(Tabela 6.5 – variação de DPI)			
EqNumCA	4	(Tabela 6.7 – variação de CA)			
b	0				
PT	4,39	4,18	3,96	3,75	3,54
CENÁRIO 1.3					
EqNumEnv	3,00				
AC	2256,87				
AU	5855,48				
APT	1821,51				
ANC	1777,1				
EqNumV	5,00	4,00	3,00	2,00	1,00
EqNumDPI	3,05	(Tabela 6.5 – variação de DPI)			
EqNumCA	3,76	(Tabela 6.7 – variação de CA)			
b	0				
PT	3,99	3,78	3,57	3,36	3,14
CENÁRIO 1.4					
EqNumEnv	2,00				
AC	2256,87				
AU	5855,48				
APT	1821,51				
ANC	1777,1				
EqNumV	5,00	4,00	3,00	2,00	1,00
EqNumDPI	2,24	(Tabela 6.5 – variação de DPI)			
EqNumCA	3,52	(Tabela 6.7 – variação de CA)			
b	0				
PT	3,60	3,38	3,17	2,96	2,75
CENÁRIO 1.5					
EqNumEnv	1,00				
AC	2256,87				
AU	5855,48				
APT	1821,51				
ANC	1777,1				
EqNumV	5,00	4,00	3,00	2,00	1,00
EqNumDPI	1,43	(Tabela 6.5 – variação de DPI)			
EqNumCA	3,28	(Tabela 6.7 – variação de CA)			
b	0				
PT	3,20	2,99	2,78	2,56	2,35

Tabela 6.12 – Cenários de análise atendendo ao PRs

CENÁRIO 2.1					
EqNumEnv	5,00				
AC	2256,87				
AU	5855,48				
APT	1821,51				
ANC	1777,1				
Eq.Num.V	5,00	4,00	3,00	2,00	1,00
EqNumDPI	4,67	(Tabela 6.5 – variação de DPI)			
EqNumCA	4,91	(Tabela 6.7 – variação de CA)			
b	0				
PT	4,89	4,67	4,46	4,25	4,04
CENÁRIO 2.2					
EqNumEnv	4,00				
AC	2256,87				
AU	5855,48				
APT	1821,51				
ANC	1777,1				
Eq.Num.V	5,00	4,00	3,00	2,00	1,00
EqNumDPI	3,86	(Tabela 6.5 – variação de DPI)			
EqNumCA	4,67	(Tabela 6.7 – variação de CA)			
b	0				
PT	4,49	4,28	4,07	3,85	3,64
CENÁRIO 2.3					
EqNumEnv	3,00				
AC	2256,87				
AU	5855,48				
APT	1821,51				
ANC	1777,1				
Eq.Num.V	5,00	4,00	3,00	2,00	1,00
EqNumDPI	3,05	(Tabela 6.5 – variação de DPI)			
EqNumCA	4,43	(Tabela 6.7 – variação de CA)			
b	0				
PT	4,10	3,88	3,67	3,46	3,25
CENÁRIO 2.4					
EqNumEnv	2,00				
AC	2256,87				
AU	5855,48				
APT	1821,51				
ANC	1777,1				
Eq.Num.V	5,00	4,00	3,00	2,00	1,00
EqNumDPI	2,24	(Tabela 6.5 – variação de DPI)			
EqNumCA	4,18	(Tabela 6.7 – variação de CA)			
b	0				
PT	3,70	3,49	3,27	3,06	2,85
CENÁRIO 2.5					
EqNumEnv	1,00				
AC	2256,87				
AU	5855,48				
APT	1821,51				
ANC	1777,1				
EqNumV	5,00	4,00	3,00	2,00	1,00
EqNumDPI	1,43	(Tabela 6.5 – variação de DPI)			
EqNumCA	3,94	(Tabela 6.7 – variação de CA)			
b	0				
PT	3,30	3,09	2,88	2,67	2,45

A síntese dos níveis de eficiência alcançados para as duas condições de atendimento é apresentada nas Tabelas 6.13 e 6.14, comparadas ao cenário de referência do edifício, já que os valores de EqNumV são hipotéticos.

Tabela 6.13 – Níveis de eficiência segundo os cenários de análise para a condição de não atendimento ao PRs

PONTUAÇÃO FINAL (PT) CENÁRIO 1.1	EqNumV = 5	REFERÊNCIA	CENÁRIO A	CENÁRIO B	CENÁRIO C	CENÁRIO D	CENÁRIO E
	PT		3,43	4,78	4,57	4,36	4,15
NÍVEL		C	A	A	B	B	B

PONTUAÇÃO FINAL (PT) CENÁRIO 1.2	EqNumV = 4	REFERÊNCIA	CENÁRIO A	CENÁRIO B	CENÁRIO C	CENÁRIO D	CENÁRIO E
	PT		3,22	4,39	4,18	3,96	3,75
NÍVEL		C	B	B	B	B	B

PONTUAÇÃO FINAL (PT) CENÁRIO 1.3	EqNumV = 3	REFERÊNCIA	CENÁRIO A	CENÁRIO B	CENÁRIO C	CENÁRIO D	CENÁRIO E
	PT		3,01	3,99	3,78	3,57	3,36
NÍVEL		C	B	B	B	C	C

PONTUAÇÃO FINAL (PT) CENÁRIO 1.4	EqNumV = 2	REFERÊNCIA	CENÁRIO A	CENÁRIO B	CENÁRIO C	CENÁRIO D	CENÁRIO E
	PT		2,80	3,60	3,38	3,17	2,96
NÍVEL		C	B	C	C	C	C

PONTUAÇÃO FINAL (PT) CENÁRIO 1.5	EqNumV = 1	REFERÊNCIA	CENÁRIO A	CENÁRIO B	CENÁRIO C	CENÁRIO D	CENÁRIO E
	PT		2,58	3,20	2,99	2,78	2,56
NÍVEL		C	C	C	C	C	D

Tabela 6.14 – Níveis de eficiência segundo os cenários de análise para a condição de atendimento ao PRs

PONTUAÇÃO FINAL (PT) CENÁRIO 2.1	EqNumV = 5	REFERÊNCIA	CENÁRIO A	CENÁRIO B	CENÁRIO C	CENÁRIO D	CENÁRIO E
	PT		3,53	4,89	4,67	4,46	4,25
NÍVEL		B	A	A	B	B	B

PONTUAÇÃO FINAL (PT) CENÁRIO 2.2	EqNumV = 4	REFERÊNCIA	CENÁRIO A	CENÁRIO B	CENÁRIO C	CENÁRIO D	CENÁRIO E
	PT		3,32	4,49	4,28	4,07	3,85
NÍVEL		C	B	B	B	B	B

PONTUAÇÃO FINAL (PT) CENÁRIO 2.3	EqNumV = 3	REFERÊNCIA	CENÁRIO A	CENÁRIO B	CENÁRIO C	CENÁRIO D	CENÁRIO E
	PT		3,14	4,10	3,88	3,67	3,46
NÍVEL		C	B	B	B	C	C

PONTUAÇÃO FINAL (PT) CENÁRIO 2.4	EqNumV = 2	REFERÊNCIA	CENÁRIO A	CENÁRIO B	CENÁRIO C	CENÁRIO D	CENÁRIO E
	PT		2,90	3,70	3,49	3,27	3,06
NÍVEL		C	B	C	C	C	C

PONTUAÇÃO FINAL (PT) CENÁRIO 2.5	EqNumV = 1	REFERÊNCIA	CENÁRIO A	CENÁRIO B	CENÁRIO C	CENÁRIO D	CENÁRIO E
	PT		2,68	3,30	3,09	2,88	2,67
NÍVEL		C	C	C	C	C	D

Os cenários estabelecidos permitem demonstrar a influência da variação dos valores dos equivalentes e da condição de atendimento ao pré-requisito

sombreamento para o Sistema de Condicionamento de Ar sobre o resultado da pontuação total (PT) do nível de eficiência energética do edifício.

As Figuras 6.3 e 6.4 ilustram, portanto, a relevância e a representatividade das variáveis no cálculo que determina o nível de eficiência do edifício.

Figura 6.3 – Variação sobre a pontuação total do edifício para os cenários de análise segundo a condição de não atendimento ao pré-requisito sombreamento

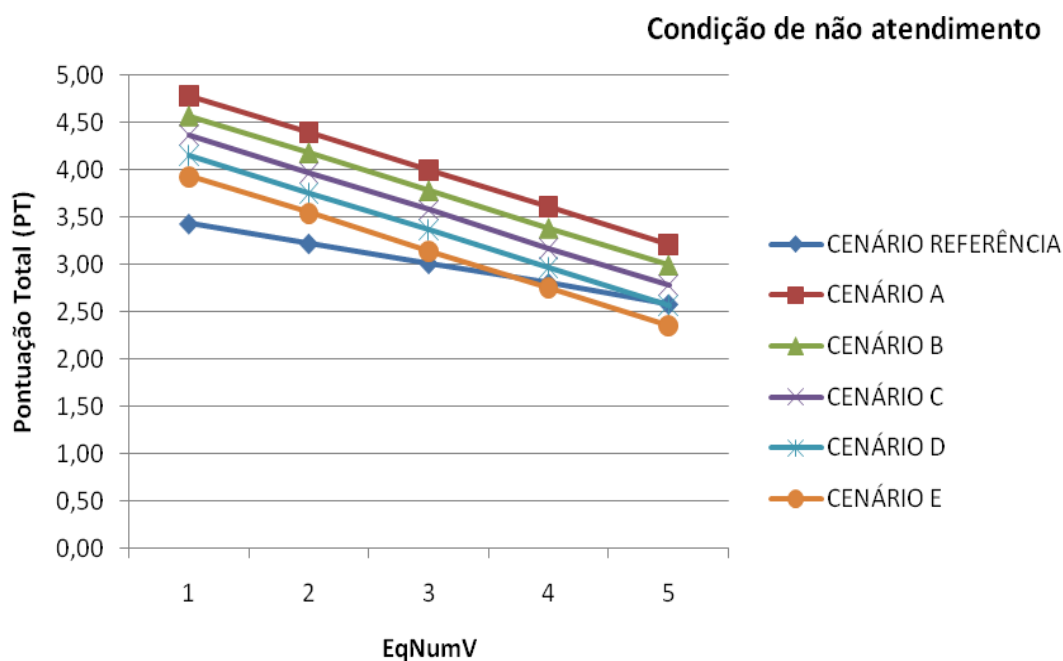
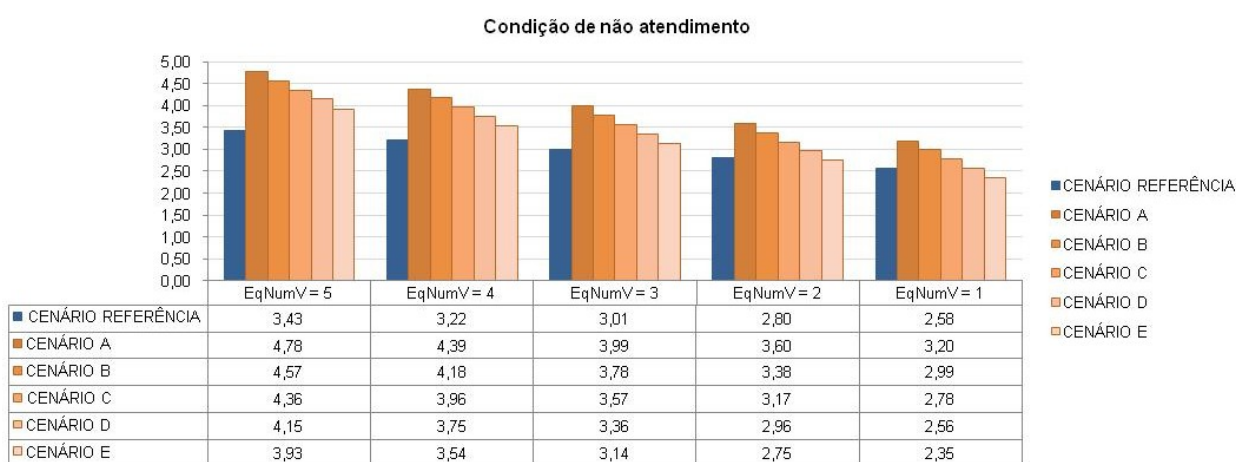
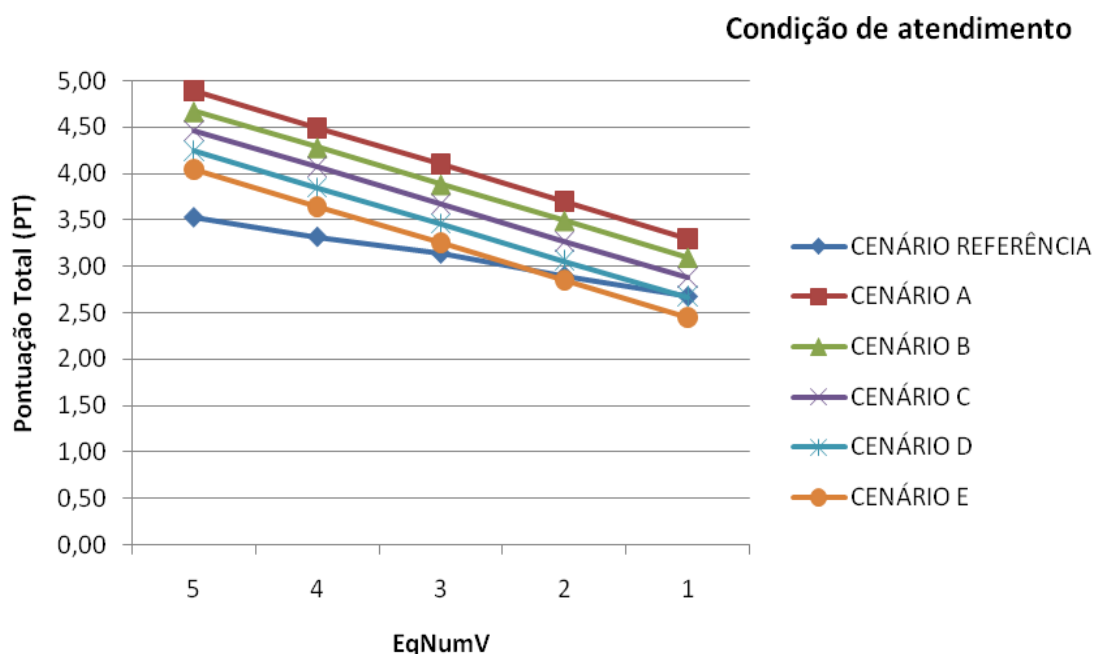
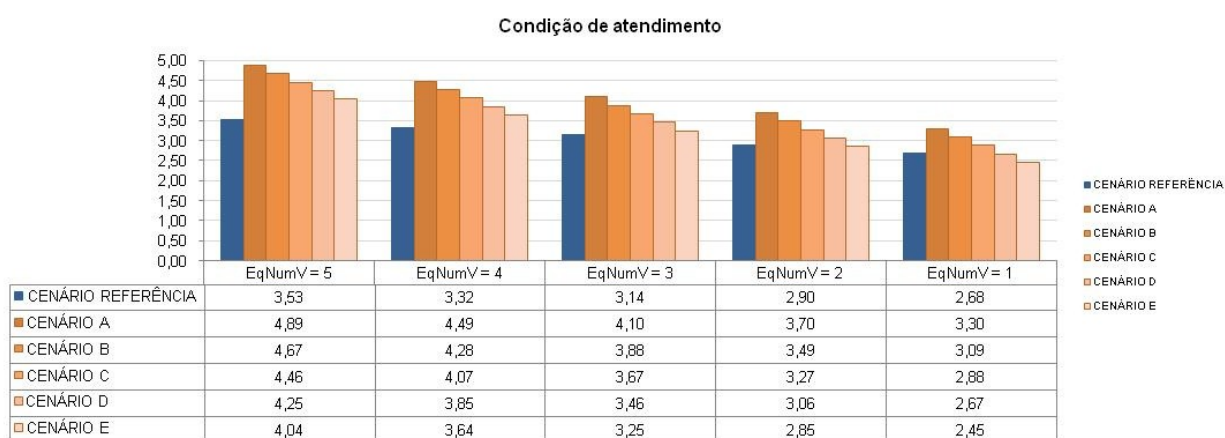


Figura 6.4 – Variação sobre a pontuação total do edifício para os cenários de análise segundo a condição de atendimento ao pré-requisito sombreamento



Ainda, foram simulados os resultados da hipótese que considera o condicionamento artificial de 100% dos ambientes da edificação, indicando a classificação geral do seu nível de eficiência.

Para este cenário as áreas existentes condicionadas foram mantidas com os respectivos equivalentes, representando um percentual de 38,54% e, aquelas a condicionar, que representam um percentual de 61,46%, foram supostamente condicionadas segundo os equivalentes de referência do Regulamento (Tabela 5.12). Da mesma forma, foram consideradas as duas condições de atendimento ao pré-requisito sombreamento.

As Tabelas 6.15 e 6.16 apresentam os resultados da Pontuação Total (PT) para cada uma das variações do EqNumCA, considerando fixos os valores das demais variáveis. As variações do EqNumCA são resultantes da ponderação entre os valores reais e simulados para as áreas condicionadas existentes e aqueles determinados supostamente para as áreas que, na condição real do edifício, são naturalmente ventiladas.

Tabela 6.15 – Cenário para condicionamento artificial total da edificação, não atendendo ao pré-requisito sombreamento

	área (m²)	%	EqNumCA				
			Eq.=5	Eq.=4	Eq.=3	Eq.=2	Eq.=1
áreas reais condicionadas artificialmente	2256,87	38,54	4,91	4,67	4,43	4,18	3,94
áreas supostamente a condicionar artificialmente	3598,61	61,46	3,07	2,46	1,84	1,23	0,61
EqNumCA total	5855,48	100,00	3,78	3,31	2,84	2,37	1,9

PARÂMETRO	REFERÊNCIA	VARIAÇÕES DO EqNumCA				
EqNumEnv	3	3				
AC	2256,87	5855,48				
AU	5855,48	5855,48				
APT	1821,51	0				
ANC	1777,1	0				
EqNumV	1	0				
EqNumDPI	1,43	1,43				
EqNumCA	3,28	3,78	3,31	2,84	2,37	1,9
b	0					
PT	2,58	2,84	2,65	2,47	2,28	2,09
NÍVEL	C	C	C	D	D	D

Tabela 6.16 – Cenário para condicionamento artificial total da edificação, atendendo ao pré-requisito sombreamento

	área (m ²)	%	EqNumCA				
			Eq.=5	Eq.=4	Eq.=3	Eq.=2	Eq.=1
áreas reais condicionadas artificialmente	2256,87	38,54	4,24	4	3,76	3,52	3,28
áreas supostamente a condicionar artificialmente	3598,61	61,46	3,07	2,46	1,84	1,23	0,61
EqNumCA total	5855,48	100,00	3,52	3,05	2,58	2,11	1,64

PARÂMETRO	REFERÊNCIA	VARIAÇÕES DO EqNumCA				
EqNumEnv	3	3				
AC	2256,87	5855,48				
AU	5855,48	5855,48				
APT	1821,51	0				
ANC	1777,1	0				
EqNumV	1	0				
EqNumDPI	1,43	1,43				
EqNumCA	3,94	3,52	3,05	2,58	2,11	1,64
b	0					
PT	2,68	2,74	2,55	2,36	2,17	1,99
NÍVEL	C	C	C	D	D	D

A análise dos dados apresentados pelas tabelas demonstra que, caso a edificação apresentasse a totalidade de seus ambientes condicionados artificialmente, a classificação máxima de sua eficiência estaria limitada ao nível C.

A simulação quanto a considerar todos os ambientes ventilados naturalmente não foi testada, pois segundo o Regulamento, somente poderá ser analisada a partir do método de simulação com software.

6.4.1 Atendimento aos pré-requisitos e bonificações

Uma análise quanto à exigência estabelecida para o tipo de medição dos circuitos elétricos, limitando ao nível C a classificação do edifício em caso de descumprimento do pré-requisito, permite ressaltar a importância em adotar sistemas que possibilitem mensurar separadamente o consumo de energia por usos finais.

Entretanto, cabe observar que essa individualização incorpora um custo relativamente elevado ao considerar, por exemplo, que o cabeamento que fornecerá energia ao sistema de iluminação deve ser totalmente independente daquele fornecedor de energia para outros equipamentos. Como a incorporação desse sistema para edificações construídas em data anterior à publicação do Regulamento, se torna mais complexa, o atendimento a essa condição, coerentemente, passa a ser desprezado.

Outra avaliação, relacionada aos pré-requisitos específicos de cada item, evidencia a influência que o atendimento aos seus pré-requisitos específicos representa sobre o nível de classificação da eficiência do edifício. A normativa determina que os critérios dos três requisitos devam ser atendidos no mínimo parcialmente, pois o não atendimento de nenhum deles em seu respectivo item limita o nível de classificação máximo que o requisito poderá atingir, independentemente dos resultados reais alcançados. A partir desta consideração é possível afirmar que os pré-requisitos não apresentam uma ponderação e, portanto, possuem mesma representatividade na determinação do nível de eficiência.

Ainda sob o mesmo enfoque, o atendimento a todos os pré-requisitos, associado à obtenção do nível A em cada requisito, qualifica a edificação ao recebimento do Selo Procel do INMETRO.

Em relação às bonificações é possível ressaltar que a influência dessa variável no aumento do nível de classificação alcançado pelo edifício está diretamente associada a uma prévia avaliação das iniciativas de eficiência energética adotadas e possui participação gradativa no cálculo da pontuação total, limitada à escala de valores compreendidos entre 0 e 1 ponto.

6.4.2 Condições de aplicação do procedimento de classificação geral do edifício

A classificação geral do edifício, ao ser decorrente da aplicação de dados em uma fórmula, consiste em um procedimento simples que facilita a análise e verificação do nível de eficiência energética.

As variáveis da equação representam diretamente os resultados obtidos das classificações parciais, das relações entre áreas úteis, condicionadas e não condicionadas. A variável bonificações, para aqueles edifícios que apresentam iniciativas que visam aumentar sua eficiência, ao possibilitar o acréscimo de até um ponto à pontuação total obtida pelo edifício, determina a necessidade de justificativas e da comprovação de sua real contribuição e interfere, portanto, na simples aplicação direta dos resultados das classificações parciais.

7 CONCLUSÕES

7.1 Requisito Envolvória

A experiência prática de aplicação do Regulamento para o requisito envolvória permite destacar, sob o ponto de vista do tipo de informação requerida, que a metodologia exige o prévio registro, detalhado e organizado, das características construtivas e dimensionais da envolvente em sua totalidade. Essa condição, para edificações existentes, torna-se bastante complexa na medida em que raramente encontram-se disponíveis e, principalmente atualizados, os dados que representam fielmente a configuração do edifício.

Sob o enfoque da disponibilidade das informações relativas às propriedades térmicas dos materiais, o incipiente registro normativo e divulgação dessas características podem interferir no processo de classificação. Considerando a realidade da demanda atual por ferramentas e métodos com rapidez de aplicação e operacionalização, essa condição pode dificultar a incorporação do Regulamento para aplicação em edifícios existentes.

A análise quanto à aplicação do método prescritivo como ferramenta de projeto permite observar que o nível das informações solicitadas, tanto gráficas como textuais, correspondem praticamente à etapa de projeto executivo de um edifício, interferindo no uso da metodologia para o estudo de soluções ainda na fase de concepção do projeto.

7.2 Requisito Sistema de Iluminação

A aplicação do método que envolve a classificação de eficiência do nível do Sistema de Iluminação permite salientar que o Regulamento, ao estar direcionado a edifícios existentes ou em fase de projeto, poderia diferenciar os procedimentos de obtenção do nível de eficiência de acordo com esta característica do objeto. Essa constatação está baseada no fato de que os esclarecimentos das etapas de

determinação da eficiência para o sistema de iluminação enfatizam edificações em fase de projeto.

Quanto ao levantamento de dados individuais das características dos componentes do sistema para edificações existentes, percebe-se que a dificuldade de acessibilidade a determinados equipamentos ou instalações podem representar um obstáculo à aplicação do Regulamento.

7.3 Requisito Sistema de Condicionamento de Ar

O levantamento das características dos aparelhos torna-se dependente das condições de acessibilidade tanto internas como externas aos equipamentos. Essas circunstâncias podem dificultar a classificação do nível de eficiência do requisito para edifício. Para edificações em fase de projeto constata-se a necessidade do prévio detalhamento do projeto de climatização daqueles ambientes dependentes do sistema artificial de condicionamento de ar.

7.4 Aplicabilidade do Regulamento Técnico sob o ponto de vista da prática arquitetônica

O estudo de caso do edifício do Centro de Tecnologia da UFSM permitiu a familiarização e o conhecimento detalhado do método prescritivo estabelecido no Regulamento Técnico da Qualidade para Etiquetação do Nível de Eficiência Energética.

Em resposta aos objetivos deste trabalho o estudo exploratório permitiu uma análise da aplicabilidade do método prescritivo de classificação do nível de eficiência energética, ressaltando-se a necessidade de informações em um nível de detalhamento específico dos elementos que caracterizam cada um dos requisitos, Envoltória, Sistema de Iluminação e Sistema de Condicionamento de Ar. Estes

dados envolvem informações técnicas que decorrem das definições dos projetos arquitetônico, elétrico, hidrossanitário, instalações e de condicionamento de ar.

As informações exigidas, para o caso de edificações novas, requerem o domínio dos conhecimentos específicos pelos projetistas e uma integralização efetiva dos métodos de avaliação à grade curricular acadêmica. Para edifícios existentes essa condição pode ser dificultada pelas condições de acessibilidade aos dados e ao edifício propriamente dito.

Observa-se que, embora o Regulamento não tenha sido desenvolvido como uma ferramenta de auxílio à etapa de concepção de projeto, o conhecimento dos diversos itens envolvidos na classificação dos requisitos pode indicar contribuições ao projeto de maneira a trazer benefícios para a obtenção de níveis mais eficientes de classificação.

A aplicação do método em uma edificação existente e representativa para a sua função preconiza a classificação do nível de eficiência energética das demais edificações inseridas no Campus da Universidade Federal de Santa Maria. Sob o mesmo enfoque, contribuiu para o desenvolvimento de indicadores referenciais de eficiência energética para edificações de caráter público e institucional.

Especificamente, é possível mencionar que a facilidade de aplicação da metodologia está diretamente relacionada à complexidade dos sistemas que compõem o edifício e da proposta arquitetônica, implicando em interferências para a aceitação da metodologia e incorporação para a prática de projeto.

O caso do edifício do Centro de Tecnologia, ao apresentar uma configuração relativamente simples, permitiu uma relativa padronização dos elementos constituintes dos sistemas. Cabe salientar, em contraposição, que prédios com uma volumetria mais complexa e com uma diversidade de elementos determinam um acréscimo ao intervalo de tempo necessário para o levantamento de dados. Uma possível dificuldade de acesso às informações construtivas de edificações mais antigas, relacionadas às suas condições de implantação, e a incompatibilidade freqüente entre as informações técnicas arquivadas e aquelas realmente executadas, contribui significativamente para a mensuração do tempo necessário para a classificação do nível de eficiência do edifício.

A relevância da metodologia para sua incorporação como ferramenta de projeto, auxiliando a definição de soluções energeticamente eficientes, apresenta certo grau de complexidade na medida em que exige o exímio detalhamento dos

elementos e componentes dos requisitos definidos e caracterizados no Regulamento Técnico. Aliado a esse panorama, é possível ressaltar que grande parte dos profissionais envolvidos no processo não está habituada a trabalhar com variáveis referentes às propriedades térmicas dos materiais na etapa de concepção do projeto. A criação de um software com uma interface amigável poderia simplificar o processo de inserção dos dados exigidos e a conseqüente avaliação dos resultados.

7.5 Recomendações para trabalhos futuros

A importância em regular o futuro consumo de energia das edificações do Campus da UFSM, evitando o desperdício através de medidas corretivas, determinou o interesse em desenvolver este estudo e, para o desenvolvimento de trabalhos futuros, recomenda-se:

- Efetuar uma avaliação econômica dos cenários propostos;
- Aplicar o método prescritivo em outras edificações representativas da Universidade Federal Santa Maria;
- Classificar o nível de eficiência a partir do método de simulação proposto no Regulamento Técnico.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5413 - Iluminância de interiores**. ABNT, 1992.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220-1 - Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005a.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220-2 - Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005b.

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: ABNT, 2005c.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220-4 - Desempenho térmico de edificações - Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005d.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220-5 - Desempenho térmico de edificações - Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005e.

ABNT - **Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR15575-1. Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

AIE - Agência Internacional de Energia, **World Energy Outlook, 2006**.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Relatório anual 2003**. Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília: ANEEL, 2004.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Relatório anual 2006**. Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília: ANEEL, 2007.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Tarifas médias por classe de consumo, regional e Brasil: tarifas referentes ao ano de 2007, janeiro a dezembro.** Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/tarifamedia/Default.cfm>>. Acesso em: 15 ago. 2007.

ASHRAE/IES - **Energy efficient design of new buildings except low-rise residential building - ASHRAE/IES 90.1-1989.** Illuminating Engineering Society of North America and American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, The United States of America. 147 p.

BARBOSA, M. J. **Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares.** Florianópolis: UFSC, 1997. (Tese de doutorado).

BERALDO, J. C. **Eficiência energética em edifícios: avaliação de uma proposta de regulamento de desempenho térmico para a arquitetura do estado de São Paulo.** São Paulo: USP, 2006. (Dissertação de mestrado)

BRAGAÇA, L. **Avaliação da Sustentabilidade de Edifícios - Metodologia SBTToolIPT.** Universidade do Minho Escola de Engenharia - Departamento de Engenharia Civil e Iniciativa Internacional para a Sustentabilidade do Ambiente Construído (iiSBE-Portugal), 2008. (Apresentação de slides)

BRASIL. **Lei n. 10295, de 17 de outubro de 2001.** Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Brasília, 2001a.

BRASIL. **Decreto n. 4.059, de 19 de dezembro de 2001.** Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. Brasília, 2001b.

CADDET - **Saving energy with efficient lighting in commercial buildings.** Maxi brochure 01. CADDET Energy Efficiency – Centre for de Analysis and dissemination of Demonstrated Energy Technologies. The Netherlands, 1995. 22p.

DERINGER, J. **Green Building Codes, Standards, Ratings.** Green Building Congress 2001. (Apresentação de slides)

DORNELLES, K. A. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e pva.** Campinas: Unicamp, 2008. (Tese de doutorado)

DUFFIE, J. **Energy Labling, Standards and Building Codes: a Global Survey and Assessment for Selected Developing Countries**. Washington: GEEI, 1996. (Relatório técnico).

EPRI, **Advanced lighting guidelines**. Eletric Power Research Institute. California Energy Commission U. S. Department of Energy. Washington, 1993.

FERRAZ, I. **É possível exportar Arquitetura?** [S.l: s.n], 2008. Disponível em: <http://www.ignezferraz.com.br/mainportfolio4.asp?pagina=Artigos&cod_item=1823> Acesso em: 20 dez. 2008.

FROTA, Anésia Barros. **Geometria da insolação**. São Paulo: Geros, 2004.

GELLER, H. S. **Efficient electricity use: a development strategy for Brazil**. American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington, DC, 1990.164 p.

GELLER, H. S. **O uso eficiente da eletricidade: uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil**. Rio de Janeiro: INEE – Instituto Nacional de Eficiencia Energetica, 1994, 223p.

GELLER, H. S. **Revolução energética: políticas para um futuro sustentável**. Rio de Janeiro, Relume Dumará, 2003.

GHISI, E. **Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina**. Florianópolis, 1997. (Dissertação de mestrado)

GHISI, E. **Apresentação Meio Ambiente em Debate – eficiência energética em edificações**. São Paulo, 2007. Disponível em: http://homologa.ambiente.sp.gov.br/EA/cursos/ciclo_palestras/021007/ProfEneDirGhisi.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2008.

GIVONI, B. **Confort, climate analysis and building design guidelines**. Energy and Building, Lansanne, v.18, p. 11-23, 1992.

GOULART, S. V. LAMBERTS, R. FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras – 2. Ed.** Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1998. 345 p.

GOULART, S. **Levantamento da experiência internacional: experiência nos Estados Unidos**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2005a.

GOULART, S. **Levantamento da experiência internacional: experiência européia.** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2005b.

GOULART, S. V. **Regulamentação de etiquetagem voluntária de nível de eficiência energética de edifícios comerciais e públicos.** I Seminário sobre Tecnologias Sustentáveis – ARQTECS. Santa Maria: UFSM, 2007. (Apresentação de slides).

GRAHAM, P. **A Climate for Change in Building.** SBCS 08 - I Simpósio Brasileiro de Construção Sustentável. Disponível em: <<http://www.cbcs.org.br>>. Acesso em: 21 dez. 2008. (Apresentação de slides)

HORTA, A. **Avaliação de resultados do Programa Selo Procel de Economia.** Itajubá, Eletrobras/Procel, 2007. 141 p.

HUI, S. C. M., CHEUNG, K. P. **Macroscopic Analysis of Building Energy Efficiency Standards.** In Seminar on Building Codes on Energy Efficiency, 2-4 December 1997, Hong Kong.

IBGE - **Mapa Brasil Climas.** Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2002.

IBGE - **Mapa Físico do Estado do Rio Grande do Sul.** Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão/IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2004.

IBGE - **Mapa de Relevos de Unidades do Brasil.** Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão/IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2002.

IBGE - **Região de Influência das Cidades.** Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão/IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2007.

INEE - INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. **A eficiência energética e o novo modelo do setor energético.** Brasil: INEE, Agosto, 2001.

INMETRO - **Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial.** Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/infotec/publicacoes/acpq.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2008.

INMETRO - **Programa Brasileiro de Etiquetagem PBE/INMETRO.** Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/infotec/publicacoes/acpq.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2008.

INMETRO - **Regulamento Técnico da Qualidade (RTQ) para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos.** Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br>>. Acesso em: 27 fev. 2009.

INPE - Núcleo de Pesquisa e Aplicação de Geotecnologias em Desastres Naturais e Eventos Extremos, 2006. Disponível em: <<http://www.inpe.br/crs/geodesastres/santamaria.php>>. Acesso em: 15 jan. 2008.

CIB - International Council for Research and Innovation in Building and Construction: United Nations Programme, International Environmental Technology Centre – UNEP-IETC (Eds.). **Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries: a discussion document.** BOUTEK Report no. Bou/E0204. Pretoria: CIB/UNEP-IETC. 2002.

JANDA, K. B.; BUSCH, J. F. **Worldwide status of energy standards for buildings.** Resumo de trabalho, Anais ACEEE 1992. Summer Study on Energy Efficiency in Buildings. Berkeley, 1992. V.6. pag. 103 a 105.

KRAUSE, C., LA ROVERE, E. ROVERE, A. L. Manual para Elaboração de Planos Municipais de Gestão da Energia Elétrica, Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura.** São Paulo, SP, 188p. 1997.

LAMBERTS, R.; TRIANA, M. A. **Projeto Tecnologias para Construção Habitacional mais Sustentável: Documento Levantamento do estado da arte: Energia.** Projeto Finep 2386/04. São Paulo, 2007.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; ABREU, A. L. P. de; CARLO, J. C; BATISTA, J. O.; MARINOSKY, D. L. **Desempenho térmico de edificações: apostila.** DISCIPLINA: ECV 5161. Florianópolis, 2007

LAMBERTS, R. **Construindo o futuro. Hoje. Desafios da Construção Sustentável: Painel 3.** SBCS 08 - I Simpósio Brasileiro de Construção Sustentável. Disponível em: <<http://www.cbcs.org.br>>. Acesso em: 21 dez. 2008. (Apresentação de slides).

LEDUC, J. L. G. M. PROCEL EDIFICA - **Eficiência Energética em Edificações: Ações Desenvolvidas.** ELETROBRÁS, 2008.

LEPETITGALAND, K. K. **Aplicação do Balanced Scorecard para Avaliação do Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética - PROCEL INFO.** Rio de Janeiro, 2007. (Dissertacao de mestrado)

LOMARDO, L., **Estudo para uma Regulação de Estímulos à Eficiência Energética dos Edifícios**. Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2000. (Tese de doutorado)

MAGALHÃES, L. C. **Orientações gerais para a conservação de energia elétrica em edifícios públicos**. PROCEL, 2001.

MAIA, A. C. B. **Eficiência Energética em Edificação Residencial – Soluções e Técnicas Adotadas em Prédio Multifamiliar no Recreio dos Bandeirantes/RJ**. Rio de Janeiro, 2002 (Dissertação de mestrado)

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2003.

MASCARÓ, L. R. de. **Energia na Edificação: estratégia para minimizar seu consumo**. São Paulo: Projeto, 1991.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica: 2006-2015/Sumário Executivo**. Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME: EPE, 2006.76 p.: il.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **Balanço Energético Nacional 2007: Ano base 2006: Resultados Preliminares**. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética – Rio de Janeiro: EPE, 2007.

NATIONAL RESOURCES CANADA – NRCAN; CANMET ENERGY TECHNOLOGY CENTRE (Ed.). **Green Building Challenge'98: an international conference on the Performance Assessment of Buildings**. Proceedings. NRCAN/CANMET, Vancouver, 1998.

OLGYAY, V. **Arquitectura y clima, manual de diseño bioclimático para arquitectos e urbanistas**. Barcelona: Ed. Gustavo Gili S.A., 1998.

OSRAM - **Iluminação: Conceitos e Projetos – Parte 01. Manual do Curso de Iluminação: Conceitos e Projetos**. Disponível em: <<http://www.osram.com.br/>>. Acesso em: 11 out. 2008.

PENA, S. M. **Sistemas de ar condicionado e refrigeração**. Procel, 2002.

PROCEL - PROGRAMA NACIONAL de CONSERVAÇÃO de ENERGIA ELETRICA. PROGRAMA NACIONAL de CONSERVAÇÃO de ENERGIA ELETRICA. **Manual de conservação de energia elétrica em prédios públicos e comerciais.** Eletrobrás/Procel, 1993.

PROCEL - PROGRAMA NACIONAL de CONSERVAÇÃO de ENERGIA ELETRICA. PROGRAMA NACIONAL de CONSERVAÇÃO de ENERGIA ELETRICA. **Manual para especificações técnicas de sistemas de ar condicionado e iluminação.** Eletrobrás/Procel, 2005.

PROCEL - PROGRAMA NACIONAL de CONSERVAÇÃO de ENERGIA ELETRICA. **Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil: Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso (Classe residencial – região sul).** Ano Base 2005. Rio de Janeiro, 2007.

RIVERO, R. **Acondicionamento Térmico Natural: arquitetura e clima.** Porto Alegre: DC Luzzatto, 1985.

RODRIGUES, P. **Manual de Iluminação Eficiente.** PROCEL – programa de conservação em energia elétrica. Julho, 2002.

ROMERO, B. M. A. **A arquitetura bioclimática do espaço público.** Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2001.

SANTOS, J. C. P dos. **Desempenho térmico e visual de elementos transparentes frente à radiação solar.** São Carlos: USP, 2002. (Tese de doutorado)

SANTOS, I. G. dos; SOUZA, R. V. G. **Revisão de regulamentações em eficiência energética: uma atualização das últimas décadas.** Revista FÓRUM PATRIMÔNIO – Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável > Vol. 1, No. 1 (2007) - Cadernos de Trabalho. ARTIGO - Publicado em 25/07/2008. Disponível em: <http://www.forumpatrimonio.com.br/print.php?articleID=109&modo=1#> Acesso em: 21 dez. 2008.

SARTORI, M. da G. B. **O Clima de Santa Maria-RS.** São Paulo: USP, 1979. (Dissertação de mestrado)

SAYDELLES, A. P. **Estudo do Campo Térmico e das Ilhas de Calor em Santa Maria - RS.** Santa Maria: UFSM, 2005. (Dissertação de mestrado)

SERRA, R. F.; COSH, H. R. **Arquitectura y energia natural.** Barcelona: Edicions UPC, 1995.

SIGNOR, R. **Análise de sensibilidade do consumo de energia elétrica de acordo com os padrões construtivos de edifícios.** Florianópolis. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil. Florianópolis: UFSC, 1996.

SIGNOR, R. **Análise de regressão do consumo de energia elétrica frente a variáveis arquitetônicas para edifícios comerciais climatizados em 14 capitais brasileiras.** Florianópolis: UFSC, 1999. (Dissertação de mestrado)

SILVA, V.G. **Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica.** São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. 210 p. 2003 (Tese Doutorado)

SILVA, V. G., SILVA, M. G., AGOPYAN, V. **Avaliação de edifícios no Brasil: da avaliação ambiental para avaliação de sustentabilidade.** Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 3, n. 3, p. 7-18, jul./set. 2003.

SILVA, J. S. da. **A eficiência do brise-soleil em edifícios públicos de escritórios: estudo de casos no plano piloto de Brasília.** Brasília: UNB, 2007. (Dissertação de mestrado)

SILVA, V.G. **Indo além do papel: o sentido das certificações ambientais de edifícios.** SBCS 08 - I Simpósio Brasileiro de Construção Sustentável. Disponível em: <<http://www.cbcs.org.br>>. Acesso em: 21 dez. 2008. (Apresentação de slides).

SILVA, A. C. S. B.; SATTler, M. A. LAMBERTS, R. **Zoneamento Bioclimático Brasileiro para fins de edificação.** In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 3., 1995, Gramado. Anais... Gramado: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1995. p. 161-166.

TAVARES, S.F.; LAMBERTS, R. **Consumo de energia para construção, operação e manutenção das edificações residenciais no Brasil.** In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., Maceió, 2005.

VAN BOGAERT, G. **Local control system for ergonomic energy-saving lighting.** In: **New lighting systems, Newsletter.** CADDET Energy Efficiency – Centre for de Analysis and dissemination of Demonstrated Energy Technologies. The Netherlands, 1996.

WBCSD - World Business Council for Sustainable Development. BCSD – Conselho Empresarial para o desenvolvimento Sustentável. **Factos e Tendências: Eficiência Energética em Edifícios. Realidades empresariais e oportunidades.** Relatório Síntese, 2007. Disponível em: <<http://www.wbcd.org/web/eeb>>. Acesso em: 07 dez. 2008.

(WBCSD, 2008) WBCSD - World Business Council Sustainable Development. **Relatório síntese, 2008.** Disponível em: <<http://www.wbcd.org/template>> Acesso em: 07 jul. 2008.

YEANG, K. **El rascacielos ecológico.** The Green Skyscraper: The Basis for Designing Sustainable Intensive Buildings. Barcelona: Gustavo Gili, 2001.

ZIMMERMANN, A.; AHO, I. BORDASS, B.; GEISLER, S.; JAANISTE, R. **Proposed Framework for Environmental Assessment of Existing Buildings.** In: Sustainable Building 2002. Proceedings. iiSBE/CIB/Bigforsk: Oslo, Norway. 23-25 September 2002. (Published in CD-Rom).

**APÊNDICE A – Planilha dos ambientes para o sistema de
iluminação**

**APÊNDICE B – Planilha dos ambientes condicionados
artificialmente**

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.