

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

**REQUISITOS TÉCNICOS DA QUALIDADE DO NÍVEL
DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADO EM
EDIFICAÇÃO PÚBLICA EM FASE DE PROJETO:
O CASO DO CENTRO DE CONVIVÊNCIA PARA
IDOSOS EM DOUTOR MAURÍCIO CARDOSO – RS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Thaís Faccim de Brum

Santa Maria, RS, Brasil

2010

**REQUISITOS TÉCNICOS DA QUALIDADE DO NÍVEL DE
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADO EM EDIFICAÇÃO
PÚBLICA EM FASE DE PROJETO:
O CASO DO CENTRO DE CONVIVÊNCIA PARA IDOSOS EM
DOUTOR MAURÍCIO CARDOSO – RS**

Thaís Faccim de Brum

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

Orientador: Prof. Dr. Joaquim César Pizzutti dos Santos

Santa Maria, RS, Brasil

2010

B893r Brum, Thaís Faccim de
Requisitos técnicos da qualidade do nível de eficiência energética aplicada em
edificação pública em fase de projeto : o caso do Centro de Convivência para
Idosos
em Doutor Maurício Cardoso-RS / por Thaís Faccim de Brum. – 2011.
146 f. ; il. ; 30 cm

Orientador: Joaquim Cezar Pizzutti dos Santos
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de
Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, RS, 2011

1. Engenharia civil 2. Edifícios 3. Requisitos técnicos 4. Eficiência energética
5. Etiquetagem de edifícios I. Santos, Joaquim César Pizzutti dos II. Título.

CDU 624

**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

**REQUISITOS TÉCNICOS DA QUALIDADE DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA APLICADO EM EDIFICAÇÃO PÚBLICA EM FASE DE
PROJETO: O CASO DO CENTRO DE CONVIVÊNCIA PARA IDOSOS
EM DOUTOR MAURÍCIO CARDOSO – RS**

elaborada por
Thaís Faccim de Brum

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

COMISSÃO EXAMINADORA:

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

Giane de Campos Grigoletti, Dra. (UFSM, RS)

Dinara Xavier da Paixão, Dra. (UFSM, RS)

Santa Maria, 20 de dezembro de 2010.

*Dedico este trabalho
ao meu orientador, Joaquim,
pela confiança,
aos meus pais, Ciro e Marileuza
e ao meu marido Remian,
pelo apoio imprescindível.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Dr. Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos, por sua tranquilidade, pela constante motivação e confiança na orientação deste trabalho, em especial, pela sabedoria compartilhada de maneira incondicional.

À instituição Universidade Federal de Santa Maria, pela oportunidade de receber o grau de Mestre em Engenharia Civil.

À Prefeitura Municipal de Doutor Maurício Cardoso, o consentimento para utilização do projeto do Centro de Convivência para Idosos.

Ao colega Arq. João da Jornada Fortes Filho, responsável pela elaboração do projeto analisado, a colaboração no levantamento de dados.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UFSM, pelo apoio, em especial a professora Dr^a. Dinara Paixão.

Aos colegas do curso de Pós-graduação de Engenharia Civil da UFSM, em especial à Arq. Isaura Simões, pela força e amizade e ao Arq. Egon Vettorazzi, pela singular contribuição a este trabalho.

Aos professores Dr. Eduardo G. Cunha e Dr^a. Giane C. Grigoletti, que aceitaram compor a comissão examinadora.

À pesquisadora do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – LabEEE, Ms. Greici Ramos pela disponibilidade em assessorar tecnicamente o desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas de trabalho do Escritório Fortes Arquitetos Associados, pela atenção e assistência nos períodos de ausência.

Ao professor e amigo Rubem D. Pereira, a contribuição do seu conhecimento na língua inglesa, essencial para o desenvolvimento do trabalho.

À minha família, pelo amor e incentivo, em especial aos meus pais, pela confiança concedida sem comedimento e à minha irmã, que além do apoio, colaborou na formatação final deste trabalho.

Ao meu marido e companheiro incondicional, Remian E. Lehnhard, que sempre acreditou e procurou dar o apoio necessário para que este trabalho pudesse ser desenvolvido.

A todos que, de alguma maneira, com seu apoio, carinho e atenção, transmitindo energia e confiança sem os quais a jornada seria mais difícil.

A todos, meu sincero obrigada.

*Um desperdício de energia consumida
para pensar, amar, criar, atuar, opinar,
transformar, sentir, projetar, executar.
Essas energias não se esgotam nunca.
Pelo contrário. A humanidade precisa de
um consumo cada vez maior delas.
As outras – as que movem o mundo
material, as que resfriam e aquecem os
nossos edifícios – cuidemos delas!*

(Lúcia Mascaró)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria

REQUISITOS TÉCNICOS DA QUALIDADE DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADO EM EDIFICAÇÃO PÚBLICA EM FASE DE PROJETO: O CASO DO CENTRO DE CONVIVÊNCIA PARA IDOSOS EM DOUTOR MAURÍCIO CARDOSO – RS

AUTORA: THAÍS FACCIM DE BRUM

ORIENTADOR: JOAQUIM CESAR PIZZUTTI DOS SANTOS

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 20 de dezembro de 2010.

A Etiquetagem de edifícios especificada pelos Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética - RTQ apresenta os métodos para a classificação de edifícios comerciais, de serviços e públicos quanto à eficiência energética. O trabalho consistiu na aplicação do RTQ na fase de projeto da edificação pública que abrigará o Centro de Convivência do Idoso no município de Doutor Maurício Cardoso-RS. Partindo da experiência de aplicação do RTQ, foi avaliada a aplicabilidade do mesmo sob a ótica do avaliador e, a partir da análise da influência das variáveis que determinam a classificação do edifício, foi analisada a aplicação sob o ponto de vista da prática arquitetônica. O método prescritivo, que consta no RTQ, foi utilizado para classificação geral e parcial do nível de eficiência da edificação. O fato de o edifício ser naturalmente condicionado obriga a utilização da simulação na classificação geral, entretanto neste trabalho, este método não foi utilizado e o equivalente numérico da ventilação – EqNumV adotado foi o mínimo. Foram considerados os três requisitos principais estabelecidos pela normativa: Envoltória, Sistema de Iluminação e Condicionamento de ar. No intuito de obter conclusões sobre as reais influências das variáveis que determinam o nível de eficiência energética do edifício, foram criados cenários hipotéticos. O trabalho apresenta-se como um tema relevante, já que a aplicação da metodologia do regulamento técnico pode ser utilizada como uma ferramenta de projeto, incentivando o uso de soluções energeticamente eficientes desde a concepção arquitetônica, contribuindo para execução de edificações cada vez mais eficientes energeticamente. Com os resultados obtidos foi observado que no que se refere à aplicabilidade do RTQ, além de algumas dificuldades em relação à apresentação dos dados necessários para tal, a classificação dos ambientes naturalmente ventilados é prejudicada em função do equivalente numérico da ventilação somente poder ser obtido através de simulação. Quanto às variáveis que determinam a eficiência, destaca-se o comportamento negativo em algumas variações dos ângulos de sombreamento. E, no que se refere à prática arquitetônica, em edifícios condicionados artificialmente, a eficiência da envoltória juntamente com o sistema de condicionamento interferem consideravelmente na classificação final, considerando que os ambientes de permanência transitória não são condicionados, aspecto que também contribui para eficiência.

Palavras-chave: requisitos técnicos; etiquetagem; eficiência energética

ABSTRACT

THE TECHNICAL REGULATIONS OF ENERGY EFFICIENCY QUALITY LEVEL'S APPLIED IN PUBLIC BUILDING IN THE DESIGN PHASE: THE CASE OF CONVENIENCE CENTER FOR ELDERLY IN DOUTOR MAURÍCIO CARDOSO – RS

AUTHOR: THAÍS FACCIM DE BRUM

ADVISER: JOAQUIM CESAR PIZZUTTI DOS SANTOS

Defense Place and Date: Santa Maria, December 20nd, 2010.

The labeling of buildings specified by technical regulations of energy efficiency quality level's presents the technical requirements and the methods for the classification of commercial buildings, services and publics regarding energy efficiency. The work consisted in the application of this regulation in the design phase of the public building the will house the convenience center for elderly in town of Doutor Maurício Cardoso – RS. Starting from the experience of application of regulation, was evaluated the applicability of it, from the viewpoint of the evaluator and, from the analysis of the influence of variables that determine the building's classification, was analyzed the application of regulations from the point of view of architectural practice. The prescriptive method, which is contained in regulations, was used for general and partial classification of efficiency levels of building. The three main requirements were considered, established by legislation: Envelopment, lighting and air conditioning system. In order to draw conclusions about the real influences of the variables that determine the efficiency level of the building were created hypothetical scenarios. The work presents itself as a major issue, since the application of the methodology of the regulations, can be used as a design tool, encouraging the use of energy – efficient solutions from design architectural, contributing to the performance of increasingly efficient buildings vigorously. It was possible to observe, with the obtained results, regarding the applicability of the regulations, and some difficulties regarding the presentation the data necessary for such, the classification of naturally ventilated environments is prejudiced due to the numerical equivalent of ventilation that can only be obtained through simulation. Regarding the variables that determine the efficiency, stands out the negative ways behave in some variations of the angles of shadowing. In artificially conditioned buildings, the efficiency of the envelopment along with the conditioning system interfere with the classification, whereas the remaining transitional environments are not conditioned, aspect that also contributes to the efficiency.

Keywords: Regulations, labeling, energy efficiency

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| FIGURA 2.1 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro..... | 25 |
| FIGURA 2.2 – Carta Bioclimática adaptada para o Brasil e as estratégias de condicionamento térmico | 25 |
| FIGURA 2.3 – Trocas de calor através de fechamentos opacos | 32 |
| FIGURA 2.4 – Trocas térmicas através de fechamentos transparentes | 37 |
| FIGURA 2.5 – Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS) e Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS) | 38 |
| FIGURA 2.6 – Transferidor auxiliar para o estudo das proteções solares | 38 |
| FIGURA 2.7 – Esquema Explicativo do sistema de ventilação de um hospital da Rede Sarah | 41 |
| FIGURA 2.8 – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE | 55 |
| FIGURA 2.9 – Quadrantes para definição da orientação de fachada | 60 |
| FIGURA 4.1 – Divisão Territorial do Rio Grande do Sul - Localização do Município de Dr. Maurício Cardoso | 77 |
| FIGURA 4.2 – Regiões Climáticas do Rio Grande do Sul..... | 78 |
| FIGURA 4.3 – Centro Doutor Maurício Cardoso - Localização do Terreno..... | 79 |
| FIGURA 4.4 – Planta de Cobertura..... | 79 |
| FIGURA 4.5 – Maquete Eletrônica: Perspectivas Sudeste e Noroeste..... | 80 |
| FIGURA 4.6 – Planta Baixa..... | 80 |
| FIGURA 4.7 – Cortes | 81 |
| FIGURA 4.8 – Fachadas | 82 |
| FIGURA 4.9 – Maquete Eletrônica: Perspectivas Sudoeste e Acesso..... | 83 |
| FIGURA 4.10 – Planta Baixa: Projeto Elétrico..... | 84 |
| FIGURA 5.1 – Ângulos Horizontais de sombreamento das aberturas (AHS)..... | 86 |
| FIGURA 5.2 – Ângulos Verticais de sombreamento das aberturas (AVS) | 88 |
| FIGURA 5.3 – Características construtivas das paredes externas..... | 92 |
| FIGURA 5.4 – Materiais da superfície externa das paredes | 94 |
| FIGURA 5.5 – Projeto elétrico e divisão dos circuitos comparada à área de cada ambiente..... | 96 |
| FIGURA 5.6 – Projeto elétrico ilustrando o desligamento manual independente dos circuitos | 98 |
| FIGURA 6.1 – Variações do ICenv, conforme cenários de análise | 109 |
| FIGURA 6.2 – ICenv em função do FS | 110 |
| FIGURA 6.3 – ICenv em função do AVS..... | 111 |
| FIGURA 6.4 – ICenv em função do AHS | 112 |
| FIGURA 6.5 – ICenv em função do PAFt..... | 112 |
| FIGURA 6.6 – ICenv em função do FS e o PAFt | 113 |
| FIGURA 6.7 – ICenv em função do AVS e o PAFt..... | 113 |
| FIGURA 6.8 – ICenv em função do AHS e o PAFt..... | 114 |
| FIGURA 6.9 – Pontuação (PT) em função do EqNumV para ambientes não condicionados | 126 |
| FIGURA 6.10 – Pontuação (PT) em função do EqNumV e EqNumDPI para ambientes não condicionados..... | 126 |
| FIGURA 6.11 – Pontuação (PT) em função EqNumEnv e EqNumCA para ambientes condicionados | 128 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 6.12 – Pontuação (PT) em função EqNumDPI e EqNumCA para ambientes condicionados | 129 |
| FIGURA 6.13 – Pontuação (PT) em função EqNumEnv e AC para diferentes áreas condicionadas | 130 |
| FIGURA 6.14 – Pontuação (PT) em função EqNumDPI e AC para diferentes áreas condicionadas | 131 |
| FIGURA 6.15 – Pontuação (PT) em função EqNumDPI e AC para diferentes áreas condicionadas | 132 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 2.1 – Valores de α para algumas cores de superfícies | 28 |
| Tabela 2.2 – Densidade e condutibilidade de alguns materiais | 29 |
| Tabela 2.3 – Transmitância térmica para alguns fechamentos opacos | 30 |
| Tabela 2.4 – Fator solar para alguns tipos de superfícies transparentes | 36 |
| Tabela 2.5 – Equivalente Numérico para cada nível de eficiencia | 52 |
| Tabela 2.6 – Equivalentes numéricos para ventilação natural | 53 |
| Tabela 2.7 – Classificação Geral..... | 54 |
| Tabela 2.8 – Relação entre a demanda de água quente e o nível de eficiência | 55 |
| Tabela 2.9 – Relação entre a característica do elevador e o nível de eficiência..... | 56 |
| Tabela 2.10 – Parâmetros do IC _{máxD} | 59 |
| Tabela 2.11 – Parâmetros do IC _{mín} | 59 |
| Tabela 2.12 – Limites dos intervalos dos níveis de eficiência | 59 |
| Tabela 2.13 – Relação entre os pré-requisitos e o nível de eficiência | 61 |
| Tabela 2.14 – Relação do Nível de eficiência com a U _{cob} para ZB2 | 62 |
| Tabela 2.15 – Relação entre os pré-requisitos e o nível de eficiencia | 65 |
| Tabela 2.16 – Relação os dispositivos de controle e a área do ambiente | 65 |
| Tabela 5.1 – Resultado do IC _{env} | 85 |
| Tabela 5.2 – Ponderação do AHS pela área total de aberturas | 87 |
| Tabela 5.3 – Ponderação do AVS pela área total de aberturas | 89 |
| Tabela 5.4 – Percentual de área de abertura na fachada total (PAFt) | 89 |
| Tabela 5.5 – Indicadores de consumo limites para cada nível e eficiência | 90 |
| Tabela 5.6 – Comparação entre os limites para cada nível e eficiência e os resultados finais para os pré-requisitos da envoltória | 90 |
| Tabela 5.7 – Transmitâncias térmicas de cada composição das paredes externas.. | 91 |
| Tabela 5.8 – Coeficientes de absorção dos materiais da superfície externa das paredes | 93 |
| Tabela 5.9 – Potência de iluminação limite | 95 |
| Tabela 5.10 – Atendimento aos pré-requisitos do sistema de iluminação..... | 99 |
| Tabela 5.11 – Ponderação dos EqNumDPI em função dos pré-requisitos atendidos..... | 99 |
| Tabela 5.12 – Resultado e variáveis da equação da classificação geral | 100 |
| Tabela 6.1 – Classificações Parciais e Final dos Níveis de Eficiência | 101 |
| Tabela 6.2 – Variações da U _{par} conforme composição dos materiais..... | 104 |
| Tabela 6.3 – Variações da U _{cob} conforme composição dos materiais testados para cobertura | 105 |
| Tabela 6.4 – Variações da α cob conforme composição dos materiais testados para cobertura | 106 |
| Tabela 6.5 – Variações do IC _{env} em diferentes cenários de análise..... | 107 |
| Tabela 6.6 – Variações do IC _{env} em função de AVS, AHS e FS | 108 |
| Tabela 6.7 – Variações do IC _{env} em função de AVS, AHS e PAF | 108 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 6.8 – Variações do ICenv em função de FS e PAF..... | 109 |
| Tabela 6.9 – Variações do ICenv em função de FS, AVS, AHS e PAF..... | 109 |
| Tabela 6.10 – Variações do ICenv conforme cenários de análise..... | 115 |
| Tabela 6.11 – Indicadores de consumo limites para cada nível e eficiência para o cenário 8 | 115 |
| Tabela 6.12 – Cálculo do EqNum do Sistema de Iluminação pelo método das atividades do edifício | 120 |

LISTA DE REDUÇÕES

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC – Áreas de piso dos ambientes condicionados
Aenv – Área da envoltória
AHS - Ângulo Horizontal Solar.
ANC – Áreas úteis de piso dos ambientes não condicionados de permanência prolongada
Apcob – Área de projeção da cobertura
Ape – Área de projeção do edifício
APT - Áreas úteis de piso dos ambientes de permanência transitória não condicionados,
ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers*
Atot – Área total de piso fechada de construção
AU – Área útil total da edificação
AVS – Ângulo Vertical Sombreamento
AHS – Ângulo Horizontal de Sombreamento
b – bonificações
BREEAM – Building Research Establishment Environmental Assessment Method
CGIEE – Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética
DPI – Densidade de potência de iluminação
DPIL – Densidade de potência limite
ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EqNumCA – Equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar
EqNumDPI – Equivalente numérico do sistema de iluminação
EqNumEnv – Equivalente numérico envoltória
EqNumV – Equivalente numérico dos ambientes não condicionados e/ou ventilados naturalmente
FA – Fator Altura
FF – Fator de Forma
Fs – Fator Solar
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICenv – indicador de consumo da envoltória
ICmáxD – Indicador de consumo máximo da envoltória
ICmín – Indicador de consumo mínimo da envoltória
INMETRO – Instituto de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
ISBE – *International Initiative for a Sustainable Built Environment*
K – Índice de ambiente
LED – Diodo de emissão de luz
LEED – *Leadership in Energy and Environmental Design*
MME – Ministério de Minas e Energia
NBR – Norma Brasileira
PAFO – Percentual de Área de Abertura para a fachada oeste
PAFt – Percentual de Área de Abertura na Fachada Total
PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem.
POC – Percentual de horas ocupadas de conforto
PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia

PT – Pontuação Total

R – Resistência Térmica

RCR – *Room Cavity Ratio*

RTQ – C – Requisitos Técnicos da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, Serviços e Públicos

Vtot – Volume total da edificação

WWF – *World Wildlife Fund*.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 16 |
| 1.1 Objetivos | 19 |
| 1.1.1 Objetivo geral | 19 |
| 1.1.2 Objetivos específicos..... | 19 |
| 1.2 Estrutura do trabalho | 20 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 21 |
| 2.1 Bioclimatologia | 21 |
| 2.1.1 Conforto térmico na arquitetura..... | 21 |
| 2.1.2 Arquitetura Bioclimática..... | 23 |
| 2.1.3 Zoneamento Bioclimático Brasileiro | 24 |
| 2.2 Desempenho térmico de edificações | 26 |
| 2.2.1 Envoltória | 26 |
| 2.2.1.1 Fechamentos opacos | 26 |
| 2.2.1.2 Fechamentos transparentes..... | 34 |
| 2.2.1.3 Proteções Solares | 37 |
| 2.2.2 Ventilação Natural..... | 39 |
| 2.3 Eficiência energética nas edificações | 42 |
| 2.3.1 Sistema de iluminação eficiente | 42 |
| 2.3.2 Aparelhos eficientes e o sistema de condicionamento de ar..... | 44 |
| 2.4 Métodos e sistemas de classificação e avaliação dos edifícios | 45 |
| 2.4.1 Avaliação de edificações em âmbito mundial..... | 48 |
| 2.4.2 Avaliação de edificações no Brasil | 50 |
| 2.4.3 Requisitos Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de serviços e Públicos - RTQ-C, BRASIL (2010b) | 51 |
| 2.4.3.1 Envoltória | 56 |
| 2.4.3.2 Sistema de Iluminação | 63 |
| 2.4.3.3 Sistema de Condicionamento de Ar | 66 |
| 3 METODOLOGIA | 68 |
| 3.1 Aplicação do RTQ-C (BRASIL, 2010b) para classificação da edificação quanto ao nível de eficiência energética | 68 |
| 3.1.1 Envoltória | 69 |
| 3.1.1.1 Determinação do indicador de consumo da envoltória (ICenv) | 69 |
| 3.1.1.2 Variáveis utilizadas para determinação do nível de eficiência da envoltória | 69 |
| 3.1.1.3 Determinação do nível de eficiência da envoltória | 70 |
| 3.1.1.4 Atendimento aos pré-requisitos específicos da envoltória..... | 71 |
| 3.1.2 Sistema de Iluminação | 72 |
| 3.1.2.1 Determinação do nível de eficiência do sistema de iluminação | 72 |
| 3.1.2.2 Atendimento aos pré-requisitos específicos da iluminação | 72 |
| 3.1.3 Sistema de Condicionamento de Ar | 73 |
| 3.1.4 Classificação geral do nível de eficiência da edificação | 73 |
| 3.1.4.2 Pré-requisitos gerais..... | 74 |
| 3.1.4.3 Pré-requisitos específicos | 74 |
| 3.2 Avaliação da aplicabilidade do regulamento sob a ótica do avaliador | 75 |
| 3.3 Análise das variáveis utilizadas na determinação do nível de eficiência do objeto de estudo | 75 |
| 3.4 Análise do Regulamento sob a ótica da prática arquitetônica | 75 |

| | |
|---|------------|
| 4 OBJETO DE ESTUDO | 76 |
| 4.1 Caracterização do município e da área de estudo | 76 |
| 4.1.2 Descrição e caracterização do projeto da edificação | 78 |
| 5 RESULTADOS | 85 |
| 5.1 Classificação parcial do requisito Envoltória | 85 |
| 5.1.1 Nível de eficiência da Envoltória | 85 |
| 5.1.2 Atendimento aos pré-requisitos..... | 90 |
| 5.1.2.1 Transmitância térmica das paredes externas..... | 91 |
| 5.1.2.2 Transmitância térmica da cobertura | 92 |
| 5.1.2.3 Cor e absorvância solar das paredes externas | 93 |
| 5.1.2.4 Cor e absorvância solar da cobertura | 94 |
| 5.2 Classificação parcial do requisito Sistema de Iluminação | 94 |
| 5.2.1 Determinação do nível de eficiência do Sistema de Iluminação..... | 94 |
| 5.2.2 Atendimento aos pré-requisitos..... | 95 |
| 5.2.2.1 Resultado final com a verificação de atendimento aos pré-requisitos | 98 |
| 5.3 Classificação geral do nível de eficiência da edificação | 99 |
| 6 ANÁLISE DE RESULTADOS | 101 |
| 6.1 Envoltória | 102 |
| 6.1.1 Avaliação da aplicabilidade do regulamento sob a ótica do avaliador..... | 102 |
| 6.1.2 Análise das variáveis utilizadas na determinação do nível de eficiência | 103 |
| 6.1.3 Análise do Regulamento sob a ótica do projetista..... | 116 |
| 6.1.3.1 Paredes | 116 |
| 6.1.3.2 Cobertura | 117 |
| 6.1.3.3 Superfícies das paredes e cobertura..... | 117 |
| 6.1.3.4 Materiais transparentes | 117 |
| 6.1.3.5 Proteções Solares | 118 |
| 6.1.3.6 Aberturas em fachadas | 118 |
| 6.2 Sistema de Iluminação | 119 |
| 6.2.1 Avaliação da aplicabilidade do regulamento | 119 |
| 6.2.2 Análise das variáveis utilizadas na determinação do nível de eficiência | 120 |
| 6.2.3 Análise do Regulamento sob a ótica do projetista..... | 121 |
| 6.3 Sistema de Condicionamento de Ar | 122 |
| 6.3.1 Avaliação da aplicabilidade do regulamento sob a ótica do avaliador..... | 122 |
| 6.3.2 Análise das variáveis utilizadas na determinação do nível de eficiência | 123 |
| 6.3.3 Análise do Regulamento sob a ótica da prática arquitetônica | 123 |
| 6.4 Classificação Geral do nível de eficiência da edificação | 124 |
| 6.4.1 Avaliação da aplicabilidade do regulamento sob a ótica do avaliador..... | 124 |
| 6.4.2 Análise das variáveis utilizadas na determinação do nível de eficiência | 125 |
| 6.4.3 Análise do Regulamento sob a ótica da prática arquitetônica | 132 |
| 7 CONCLUSÕES | 134 |
| 7.1 Aplicabilidade do regulamento sob a ótica do avaliador | 134 |
| 7.2 Variáveis utilizadas na determinação do nível de eficiência | 135 |
| 7.3 Análise do Regulamento sob a ótica da prática arquitetônica | 136 |
| 7.4 Recomendações para trabalhos futuros | 138 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 139 |

1 INTRODUÇÃO

A expressão sustentabilidade vem sendo amplamente apresentada nos meios de comunicação e estudada no meio científico. O desenvolvimento sustentável pode ser definido como aquele capaz de atender às necessidades das atuais gerações sem comprometer os direitos das futuras gerações (Meiriño, 2004).

As iniciativas referentes a este tema começam a ser abordadas em 1970 com o choque do petróleo, que abalou o sistema energético europeu. Desde então, o assunto vem sendo amplamente discutido. Entretanto, as preocupações com uso racional de energia elétrica, a qual atingiu diretamente as edificações, são efetivamente incorporadas a este tema, na última década. Neste momento, houve um comprometimento dos países a responder às premissas do desenvolvimento, buscando conciliar justiça social, crescimento econômico e proteção ambiental com a elaboração da Agenda 21, em 1992, seguidas com contribuição no atendimento às metas estabelecidas no Protocolo de Kyoto em 1996.

Apesar das práticas para racionalizar o consumo, o mesmo ainda é crescente e apresenta-se como uma realidade nos países desenvolvidos e em desenvolvimento. O Brasil faz parte do grupo dos países em desenvolvimento, sua produção energética atendeu a demanda até 2001, ano em que ocorreu a crise energética nacional.

Há uma significativa correlação entre a evolução da demanda total de energia e o nível de atividade econômica. A situação dos últimos anos referente ao consumo de energia elétrica no Brasil apresenta-se em grande parte, em crescimento no setor residencial, seguido do comercial e público. Esta evolução está atrelada ao crescimento da economia conforme Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE, 2009).

Delimitando estes dados, verifica-se que o consumo de eletricidade no setor residencial é de 23,129%, maior que o consumo nos setores comercial e público que representam 6,300% e 3,400% do consumo total brasileiro, respectivamente, conforme o Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2010). Ainda, uma pesquisa elaborada pela Eletrobás de avaliação do mercado de Eficiência Energética

(LAMBERTS et al, 2007) destaca que a distribuição do uso final, no setor comercial e públicos, configura-se da seguinte maneira:

- Sistema de ar condicionado: 47%
- Sistema de iluminação: 22%
- Demais cargas: 31%

Os indicadores, referentes ao uso final, contribuíram para o compromisso da conservação e uso racional de energia elétrica, passando a ser uma preocupação constante, impulsionando o processo de criação de uma regulamentação própria nesta área, direcionada a edificações. Sendo assim, a avaliação e certificação de edifícios entram como uma importante estratégia de sustentabilidade no âmbito das construções.

A Lei 10295, de 17 de outubro de 2001, efetiva, a nível das legislações, o início de todo o processo. Esta lei “dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e uso Racional de Energia” (BRASIL, 2001a). Em seguida, conforme o artigo 4º desta lei, que afirma que “o Poder Executivo desenvolverá mecanismos que promovam a eficiência energética nas edificações construídas no País”, a regulamentação foi publicada sob forma do Decreto 4.059 de 19 de dezembro de 2001b. O artigo 1º deste decreto determina que “os níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, (...)” serão estabelecidos com base em indicadores técnicos e regulamentação específica.

Neste contexto, conforme Lamberts et al (2007), o Plano de Ação para Eficiência Energética em Edificações lança o PROCEL Edifica, estabelecido para implementar a eficiência energética na cultura construtiva nacional, englobando a educação e certificação de materiais, a elaboração de projetos e a revisão de leis de eficiência energética para constante atualização tecnológica. Um dos principais objetivos é desenvolver a própria regulamentação para etiquetagem de edifícios. Sua aprovação, após estudos e experimentos, é efetivada no ano de 2006, o que possibilitará um diferencial de mercado para edificações mais eficientes.

Na Europa, um plano de Ação elaborado para a Eficiência Energética (2007–2012), tem o objetivo de reduzir em 20% do consumo de energia até 2020. A Comissão do plano considera que as poupanças de energia mais significativas

ocorrerão principalmente nos setores residenciais e para uso comercial, com um potencial de redução avaliado em, respectivamente, 27% e 30% (UE, 2010).

No Brasil, 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), o que resultará na redução do consumo de energia para os usuários dos imóveis. Os benefícios relacionados à capacidade de redução no consumo de energia com iniciativas apresentam-se bem favoráveis, conforme descrição de Leduc (2008). Nas edificações, o sistema de iluminação representa um potencial de economia de 30%, já o sistema de condicionamento de ar entre 10 e 12% e a envoltória na ordem de 10%.

As simulações realizadas pela Empresa de Pesquisa Energética “projetam o consumo total de energia elétrica para o Brasil, evoluindo de 434 TWh, em 2008, para 700 TWh em 2017” (BRASIL, 2009). Isso significa uma taxa média de crescimento de 5,4 % ao ano, até 2017. Embora a perspectiva de consumo seja crescente, a tendência é de que nos próximos anos o consumo de eletricidade seja menor, comparado ao crescimento econômico, o que será resultado de um conjunto de fatores e efeitos que vêm, ao longo do tempo, convergindo para uma maior eficiência energética.

O Centro de Convivência para idosos em Dr. Maurício Cardoso-RS será o objeto de estudo deste trabalho para experimentação e análise da regulamentação de eficiência energética. Trata-se de um edifício público de caráter institucional, com uma arquitetura de tipologia térrea, inserida no clima do Rio Grande do Sul.

A aplicação dos Requisitos Técnicos para Etiquetagem do Nível de Eficiência Energética em edifícios comerciais, de serviço e públicos proporcionará subsídios para elaboração de projetos mais eficientes energeticamente, verificando tanto o ponto de vista do projetista como do profissional que aplicará o regulamento. Sobretudo, aplicar o regulamento ao projeto será significativamente importante, pois é nesta fase de concepção e planejamento, a qual corresponde aos menores custos, em que há maiores possibilidades de intervenção com foco na sustentabilidade. Aplicar o regulamento na fase de projeto possibilitará eliminar possíveis impactos negativos sociais e ambientais, que podem ser gerados pelo empreendimento.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Analisar, na fase de projeto, a aplicabilidade dos Requisitos Técnicos da Qualidade para Etiquetagem do Nível de Eficiência Energética de Edifícios, avaliando, ainda, a contribuição das variáveis construtivas determinantes na classificação final.

1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar a classificação do nível de eficiência energética do projeto do Centro de Convivência para Idosos em Dr. Maurício Cardoso-RS, segundo os Requisitos Técnicos da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C);
- Avaliar os métodos de aplicação para obter a classificação do nível de eficiência energética, destacando os dados e especificações que devem conter o projeto e a qualidade destas informações, para aplicação do regulamento referente a cada requisito: envoltória, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar;
- Examinar o método sob a ótica do projetista, avaliando quais variáveis contribuem de maneira eficaz e influenciam diretamente no resultado final da Etiqueta Nacional de Eficiência Energética, tomando por base a elaboração de cenários de análise.

1.2 Estrutura do trabalho

Este trabalho apresenta-se dividido em seis 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 à bioclimatologia, ao desempenho térmico de edificações, à eficiência energética em edificações e aos métodos de avaliação e classificação de edifícios, em especial o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos (RTQ-C).

No terceiro capítulo é apresentada a metodologia utilizada na pesquisa para o levantamento de dados, para a classificação do nível de eficiência energética do objeto de estudo e para as análises dos resultados.

O quarto capítulo mostra os resultados obtidos quanto à classificação da eficiência energética, proposta pelo RTQ-C.

No quinto capítulo os resultados obtidos são interpretados a partir de cenários de análise, possibilitando a avaliação das variáveis de cada requisito como geradoras da classificação do objeto de estudo e a utilização das mesmas na prática arquitetônica, e, ainda, são expostas discussões relacionadas à aplicação do regulamento.

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

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para uma adequada compreensão do tema a ser trabalhado, apresenta-se a seguir uma revisão bibliográfica de conceitos relativos ao tema e os métodos e sistemas de classificação e avaliação dos edifícios.

2.1 Bioclimatologia

2.1.1 Conforto térmico na arquitetura

O conforto térmico é uma sensação de bem estar que depende de variáveis pessoais, ambientais e arquitetônicas. A norma NBR 15220-1 (ABNT, 2005a) o define como a “satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente”.

A elaboração de projetos arquitetônicos que apresentam a preocupação com o conforto térmico resulta em ambientes com qualidade ambiental para os usuário. Tal afirmação deve-se ao fato de que o conforto ambiental está intimamente ligado a questões vitais, de saúde e desempenho no trabalho do ser humano. Essa função pode ser explicada por Frota e Schiffer (1995), “quando as trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente ocorrem sem maior esforço, a sensação é de conforto térmico”, ou seja, está diretamente ligado ao equilíbrio térmico do corpo humano. Desta forma, o interior da edificação deve oferecer condições térmicas compatíveis ao conforto térmico humano.

Nesse contexto, é função da prática arquitetônica analisar e estabelecer condições necessárias para avaliação e concepção de ambiente térmico adequado as atividades humanas. “As variáveis arquitetônicas como forma, função, tipos de fechamento e os sistemas de condicionamento (climatização e iluminação) interagem simultaneamente com o meio ambiente e o homem”, conforme afirma

Lamberts, Dutra e Pereira (2004, p. 51), sendo assim, apresentam-se como variáveis importantes na elaboração de todo projeto arquitetônico.

A história do conforto ambiental é iniciada a partir do momento em que o homem sente necessidade de abrigo para proteção das intempéries. Esse fato histórico é explicado na arquitetura vernácula, na qual se registra a utilização das condições favoráveis do clima externo. Nessa arquitetura, a primazia era pela proteção quando o mesmo apresentava características indesejáveis, de maneira a promover, com soluções próprias de cada local, “com baixo recurso energético o nível de conforto dos ocupantes apropriado ao clima regional”, conforme observam Silva e Kinsel (2007, p. 125).

Exemplificando a boa resposta ao ambiente natural Clímaco e Amorim (2008, p. 3) mencionam o iglu dos esquimós, nas regiões frias onde o isolamento é contra a adversidade do clima externo e há uma necessidade de proteção contra os ventos, as aberturas devem existir apenas para o acesso e renovação do ar, e ser muito bem protegidas da direção dos ventos. Uma grossa camada de neve promove o isolamento da temperatura exterior; parcialmente enterradas, elas são abobadadas e baixas para menos sofrerem com os ventos; as aberturas são mínimas, apenas para o acesso e troca de ar, localizadas na direção oposta da direção dos ventos, além de possuírem um corredor intermediário de entrada. A forma esférica é uma característica que garante menor superfície de exposição, conseqüentemente, menor troca térmica.

Ainda Clímaco e Amorim (2008, p. 5), no contexto da arquitetura vernácula, ao se referirem à arquitetura indígena, destacam que as unidades residenciais são isoladas e distanciadas de modo a não obstruir os ventos, são elevadas do solo para permitir ventilação sob o piso e proteger da umidade, menciona, ao destacar os bons exemplos desta tipologia de construção.

O desenvolvimento de novas tecnologias e materiais de construção civil a partir da Revolução Industrial contribuiu para o início de um processo de desvalorização gradual da preocupação em adaptar as edificações ao clima, onde a grande variedade de materiais acarretou, muitas vezes, na aplicação inadequada dos mesmos em relação ao conforto térmico (SOUZA, 1990).

O condicionamento artificial tornou possível um maior controle das condições climáticas internas dos edifícios, assim, estas passaram a depender quase que

exclusivamente de sistemas mecânicos, afirma Hough (1998, apud DUARTE, SERRA, 2003, p. 8).

Já o *brise-soleil*, através da obra de Le Corbusier, é um retorno da relevância do clima como determinante de projeto e como etapa importante na história da arquitetura. É um invento: “que pode ser considerado como magistral, uma das poucas inovações estruturais criadas neste século para o controle ambiental.” (MASCARÓ, apud GUARESCHI, 2008, p. 25).

Fatos como o desenvolvimento tecnológico experimentado a partir da II Guerra Mundial deram continuidade à tendência do controle total das condições ambientais através dos meios mecânicos. Porém, é com a crise do petróleo em 1970 e 1980 que fica evidenciada a fragilidade do modelo até então adotado. Neste contexto, o conforto ambiental e os conceitos de eficiência energética, tornam-se condicionantes importantes na arquitetura, no momento em que o clima é considerado na elaboração dos projetos de edificações, assim como a preocupação em controlar o desperdício de energia.

2.1.2 Arquitetura Bioclimática

No princípio, já observado anteriormente na arquitetura vernácula, trata-se da arquitetura construída pelo próprio usuário por uma atitude de sobrevivência, na busca pelo abrigo. No contexto atual, significa responder às necessidades humanas em diferentes regiões climáticas.

É a arquitetura que se abre para dar entrada e absorver a energia solar em regiões ou épocas de temperaturas baixas; é a arquitetura que exclui a entrada do sol em épocas ou regiões de temperaturas altas; que atrasa a entrada do calor para as horas mais frias; é aquela que se abriga da radiação solar através da sua cobertura, ocupa a área de sombra delimitada por ela e se abre completamente para a ventilação dissipar o ar aquecido e a umidade excessiva; enfim, é a arquitetura que tira partido das condições oferecidas pelo ambiente natural para atender às necessidades básicas do seu usuário, o homem na construção de seu abrigo (CLÍMACO e AMORIM, 2008, p 01).

Desta forma, “a edificação tem que ser entendida como um invólucro seletivo das manifestações climáticas” afirma Lemos (1995), utilizando-se dos recursos

naturais, elementos arquitetônicos e tecnologias construtivas, com baixo dispêndio de energia.

Dentro da dinâmica que envolve técnicas construtivas e adequação ao clima local, bem como a função e atividade do edifício em paralelo ao princípio de sustentabilidade ambiental, todas as construções deveriam ser projetadas para um meio ambiente social e físico específico, para um determinado clima e tempo.

2.1.3 Zoneamento Bioclimático Brasileiro

Roriz, Guisi e Lamberts (1999) em “Uma Proposta de Norma Técnica Brasileira sobre o Desempenho Térmico de Habitações Populares” apresentam a metodologia para definir a base de dados climáticos no Brasil.

Dividiu-se o território brasileiro em 6500 células, cada uma correspondendo a um quadrado com 36 km de lado, caracterizado pela respectiva posição geográfica e pelas médias mensais de temperaturas máximas e mínimas e das umidades relativas do ar. Para 330 células contou-se com dados climáticos medidos. Para demais, o clima foi estimado por meio de interpolação (RORIZ, GUISI E LAMBERTS, 1999, p. 2).

O zoneamento bioclimático brasileiro, ilustrado na Figura 2.1, tem por finalidade adequar às edificações ao clima, melhorando seu desempenho térmico.

A carta Bioclimática do Brasil, Figura 2.2, foi adaptada por Roriz, Guisi e Lamberts (1999) a partir da carta sugerida por Givoni (1992), para melhor representar a realidade climática brasileira.

A cidade de Doutor Maurício Cardoso, onde está inserido o objeto de estudo deste trabalho, segundo este zoneamento bioclimático está inserida na Zona Bioclimática 2 . Para esta zona, as diretrizes construtivas apresentadas na NBR 15220-3 (ABNT, 2005-c), são as seguintes: aberturas médias para ventilação; permitir sol durante o inverno; paredes externas leves e cobertura leve e isolada; no verão prever ventilação cruzada; no inverno prever aquecimento solar da edificação, vedações internas pesadas, ou seja com alto atraso térmico; salientando que no período mais frio do ano o condicionamento ativo será necessário.

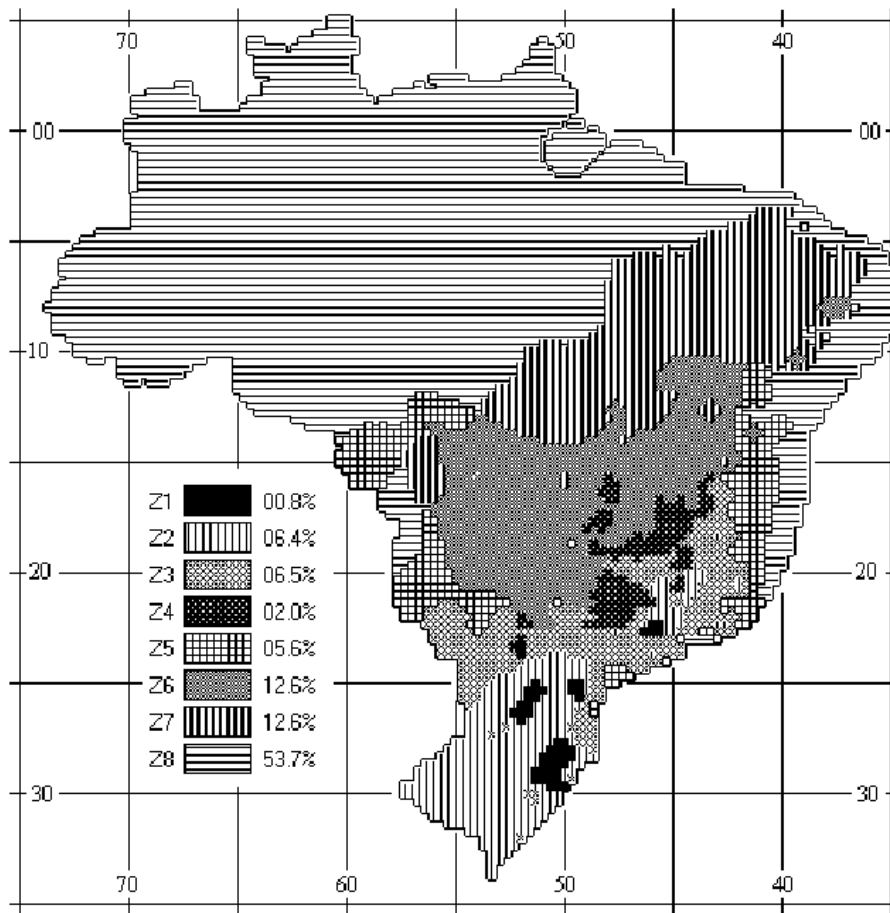


Figura 2.1 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro

Fonte: ABNT, 2005-c

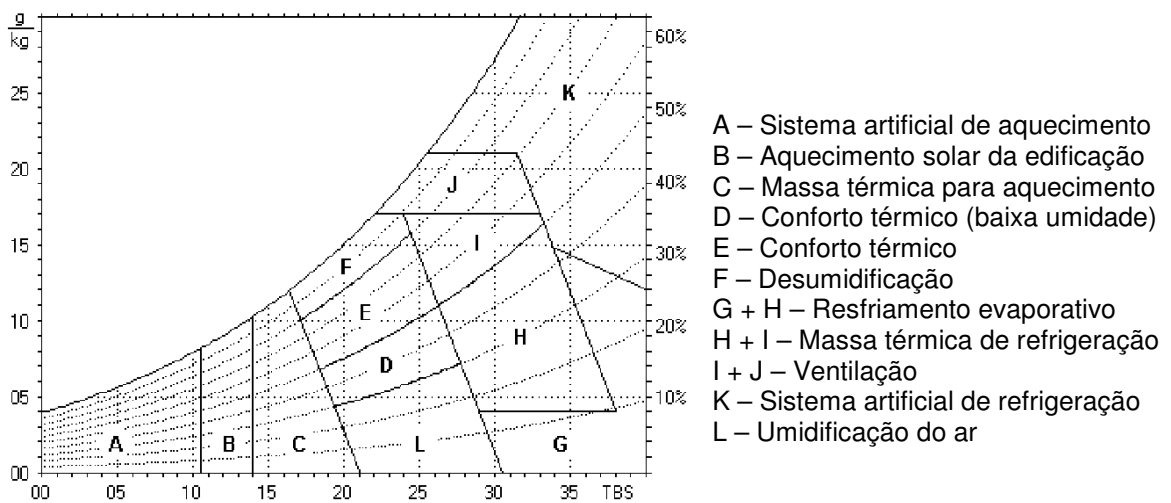


Figura 2.2 – Carta Bioclimática adaptada para o Brasil e as estratégias de condicionamento térmico
 Fonte: (RORIZ, GHISI e LAMBERTS, 1999)

2.2 Desempenho térmico de edificações

2.2.1 Envoltória

Segundo o Instituto de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), (BRASIL, 2009c), 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.”

A envoltória é um delimitante entre ambiente interno e externo da edificação e, por esse motivo, tem uma grande influência em seu desempenho energético. É necessário conhecer o papel que cada um de seus elementos constituintes desempenha nas trocas de energia com o ambiente interno para que se possa projetar uma edificação confortável e eficiente energeticamente.

Segundo Santos (2002), os elementos opacos e transparentes constituintes da envoltória diferem entre si pela capacidade ou não de transmitir a radiação solar para o interior da edificação. A intensidade das trocas de energia através desses fechamentos será função de:

- radiação solar incidente;
- propriedades térmicas (principalmente, condutividade e capacidade térmica) dos materiais da envoltória;
- absorvância (cor) dos fechamentos opacos;
- temperaturas internas e externa da edificação e de
- transmitância dos fechamentos transparentes.

2.2.1.1 Fechamento opacos

Esse tipo de fechamento constitui a parte da envoltória que não transmite diretamente a radiação solar para o interior da edificação. Nesses casos, a

transmissão de calor ocorre pela diferença de temperatura entre as superfícies interna e externa da envoltória. Através da condução a direção do fluxo de calor acontece da superfície mais quente para a mais fria e influencia a eficiência energética das edificações.

- Absortância (α) e refletância (ρ)

De acordo com seus coeficientes de absorção (α) e reflexão (ρ), que são características das superfícies dos materiais, os fechamentos com materiais opacos se comportam de maneiras diferentes frente à incidência de raios solares.

A primeira fase das trocas térmicas nos fechamentos opacos com o meio exterior é caracterizada, devido a radiação solar incidente, pelos coeficientes de absorção e reflexão (LAMBERTS et al, 2004). A aplicação da cor sobre as superfícies externa funciona como um filtro das radiações solares, influenciando, de acordo com seu índice de reflexão e absorção, as condições térmicas no interior do edifício (ROSADO E PIZZUTTI, 1997).

A radiação solar é responsável pela maior parte dos ganhos de calor de uma edificação, de forma que a absortância das superfícies externas exerce grande influência na carga térmica total da mesma. A relação de absortância em função das cores de superfícies, apresentada pela maioria dos autores, conforme tabela 2.1, representa um dado genérico e impreciso, já que a sensação cromática percebida pelo olho humano não configura uma informação confiável. O acabamento superficial (fosco, mais ou menos brilhante) para uma mesma cor pode implicar em diferenças significativas nas parcelas de energia absorvidas e refletidas (DORNELLES e RORIZ, 2006, p. 314)

Já a refletância consiste no “quociente da taxa de radiação solar refletida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície” (NBR 15220-1, p. 3).

Tabela 2.1 – Valores de α para algumas cores de superfícies

| Cor | Coefficiente de Absorção para radiação solar (onda curta) (α) |
|--|--|
| Branco | 0,2 – 0,3 |
| Amarelo, laranja, vermelho claro | 0,3 – 0,5 |
| Vermelho escuro, verde claro, azul claro | 0,5 – 0,7 |
| Marrom claro, verde escuro, azul escuro | 0,7 – 0,9 |
| Marrom escuro, preto | 0,9 – 1,0 |

Fonte: Frota, 1995

- Condutividade térmica (λ)

A condução é a troca de calor entre dois corpos que estão em contato entre si e suas temperaturas são diferentes. A intensidade do fluxo térmico envolvido nesse processo depende da condutividade térmica (λ) e a espessura (e) do material. A condutividade térmica é uma propriedade que depende da densidade do material, e expressa a capacidade de conduzir maior ou menor quantidade de calor por unidade de tempo. Dessa maneira, pode-se concluir que quanto maior o valor de λ , maior será a quantidade de calor transferida entre as superfícies.

A condução é a segunda fase do processo de transferência de calor em um fechamento opaco. Após os raios solares terem incidido no fechamento, ocorre um aumento da temperatura superficial do mesmo. Pela diferença de temperatura gerada entre a superfície externa e a interna, ocorrerá uma troca de calor entre as superfícies. (Lamberts et al, 2004).

Conforme Roriz (2008), os materiais que apresentam altas ou baixas condutividades são classificados como condutores ou isolantes térmicos respectivamente. Os materiais porosos são geralmente bons isolantes devido ao ar confinado em pequenos volumes aumentar o isolamento térmico.

A condutividade de um material (λ) é geralmente proporcional à sua massa específica aparente (ρ), conforme tabela 2.2 a seguir.

Tabela 2.2 – Densidade e condutividade de alguns materiais

| Material / Elemento | ρ kg/m³ | λ W/mK |
|----------------------------|---|--------------------------------------|
| Ar seco | 1,29 | 0,024 |
| Poliestireno expandido | 30 | 0,04 |
| Cortiça | 200 | 0,05 |
| Madeira | 800 | 0,20 |
| Água | 1000 | 0,62 |
| Mármore | 2700 | 3,40 |
| Aço | 7780 | 52,0 |
| Cobre | 8930 | 380,0 |

Fonte: Roriz (2008)

- Resistência térmica (R)

É uma característica do fechamento, sabendo-se a espessura (e) do mesmo, tem-se a possibilidade de calcular o valor da resistência térmica (R). Recomenda-se que os valores da resistência térmica sejam obtidos para as camadas homogêneas dos materiais sólidos utilizados nos elementos construtivos do ambiente em estudo (ABNT, 2003b). Podendo ser determinado pela expressão a seguir:

$$R_t = e/\lambda \text{ (m}^2 \text{ K / W)}$$

Nesta fórmula “e” é a espessura da camada do material e λ é a condutividade térmica do material.

A NBR 15220-1 (2005, p. 1) define resistência térmica (R) como o “quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento ou componente construtivo pela densidade de fluxo de calor, em regime estacionário”.

Nos fechamentos com camadas heterogêneas, (NBR 15220-2, 2005) a resistência térmica total é a resultante do somatório da resistência de cada camada homogênea mais as resistências superficiais externa e interna.

A análise da resistência térmica dos materiais de construção a serem utilizados é extremamente pertinente para um eficaz desempenho térmico do edifício. No cálculo da resistência térmica considera-se que o fluxo de calor permanece constante na passagem de um ambiente para outro através do

fechamento, constituindo, assim, o chamado *regime estacionário* ou *uniforme*. (RIVERO 1985, p. 35)

- Transmitância térmica (U)

O inverso da Resistência Térmica (RT) se denomina Transmitância Térmica (U), que é definida como o fluxo de calor que, na unidade de tempo e por unidade de área, passa através do componente, para uma diferença unitária entre as temperaturas do ar em contato com cada uma das faces desse mesmo componente.

Na Tabela 2.3, têm-se os valores de transmitância térmica para alguns fechamentos opacos

Tabela 2.3 – Transmitância térmica de alguns fechamentos opacos

| Parede | (W/m ² .K) |
|--|-----------------------|
| Tijolo 6 furos – espessura = 12,5cm | 2,39 |
| Tijolo 6 furos – espessura = 17cm (deitado) | 2,08 |
| Tijolo 8 furos rebocado – espessura = 12,5cm | 2,49 |
| Tijolo 4 furos rebocado – espessura = 12,5cm | 2,59 |
| Tijolo maciço aparente – espessura = 9cm | 4,04 |
| Tijolo maciço rebocado– espessura = 12cm | 3,57 |
| Tijolo maciço rebocado– espessura = 26cm | 2,45 |

Fonte: ABNT, 2005-c

Sabendo o valor da transmitância térmica do material opaco o fluxo de calor que o atravessa é equacionada por:

$$Q = U (t_e - t_i)$$

Onde:

Q = fluxo total de calor (W/m²)

U = transmitância térmica (W/m²°C)

t_e = temperatura do ar externo (°C)

t_i = temperatura do ar interno (°C)

- Emissividade térmica (ϵ)

A emissividade é uma característica da superfície do material devido às trocas de calor por radiação. Segundo Rivero (1985), emissividade é quantidade de energia térmica que a superfície do material emite ao meio que circunda por unidade de tempo. Assim, tendo-se uma chapa metálica com emissividade de 0,20 e pintando-a com uma camada espessa de tinta não-metálica de qualquer tipo, a emissividade da chapa será modificada para 0,90 (RIVERO, 1985).

- Temperatura ar-sol (t_{ar-sol})

Quando temos incidência da radiação solar sobre um material, o fluxo de calor é incrementado, pois nesse caso, há um acréscimo na temperatura externa, resultando a temperatura sol-ar no cálculo do fluxo de calor, onde:

$$t_{ar-sol} = \alpha I_g R_{se} + t_e$$

Então o fluxo de calor pode ser equacionado pela fórmula abaixo e representado como mostra a Figura 2.3:

$$q = U (\alpha I_g R_{se} + t_e - t_i)$$

Onde:

q = fluxo total de calor (W/m^2)

U = transmitância térmica ($W/m^2\text{°C}$)

t_e = temperatura do ar externo (°C)

t_i = temperatura do ar interno (°C)

R_{se} = resistência superficial externa ($m^2\text{°K/W}$)

α = coeficiente de absorção da superfície

I_g = radiação solar (W/m^2)

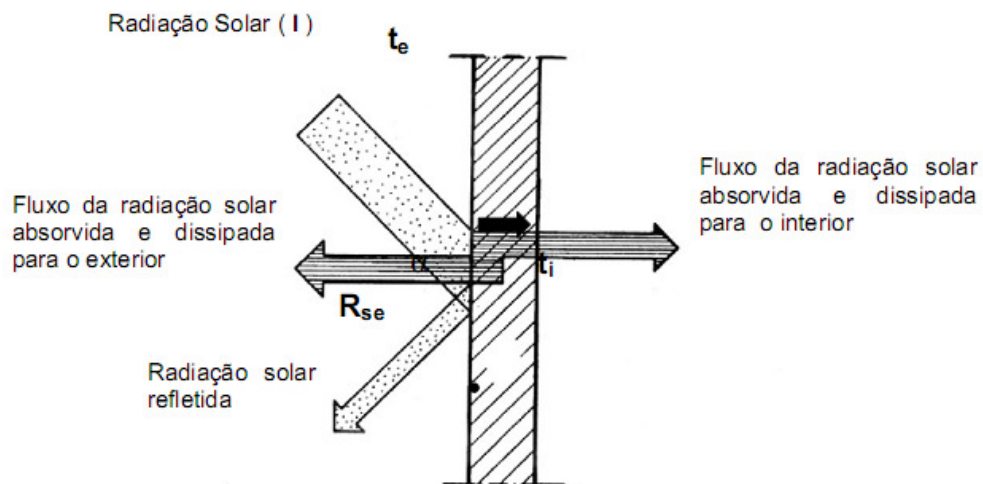


Figura 2.3 – Trocas de calor através de fechamentos opacos
Fonte: FROTA, 1995

A intensidade da radiação solar pode ser obtida através da orientação e inclinação do fechamento, da latitude e longitude do local da edificação, do dia do ano e da hora do dia, e considerando-se diferentes tipos de céu: claro, semi-encoberto e encoberto. O valor de ganhos térmicos através dos materiais opacos será utilizado no cálculo da carga térmica do ambiente somado a outros valores obtidos pelas trocas de calor através dos materiais transparentes e translúcidos, da ventilação e ganhos térmicos internos (WEBER, 2005).

- Inércia, difusividade (Dif) e capacidade térmica (Ct)

No regime variável, o valor das temperaturas varia no interior e no exterior do fechamento, e “parte do calor que entra por uma das faces da parede serve para aquecê-la, de modo que a quantidade de calor que sai pela outra face é menor, isto é, o fluxo térmico não é permanente” (COSTA, 2003, p. 101).

Neste regime os dois pontos que trocam calor alteram temperaturas durante essa troca. Um caso particular do regime térmico variável acontece quando as variações das temperaturas se repetem em intervalos de tempo iguais e sucessivos, chamado de regime periódico.

A inércia depende da "difusividade térmica" (Dif) do material, isto é, da velocidade de difusão do calor através desse material:

$$\text{Dif} = \lambda / \rho \cdot C \text{ (m}^2\text{/s)}$$

Onde:

Dif = difusibilidade térmica do material (m²/s)

λ = condutividade térmica do material (W/m K)

ρ = massa específica aparente do material (Kg/m³)

c = calor específico do material (J/Kg K)

O produto da espessura "e" de uma vedação pelo seu calor específico e pela sua massa específica aparente é denominado Capacidade Térmica (Ct) da vedação:

$$\text{Ct} = c \cdot \rho \cdot e \text{ (J/m}^2\text{K)}$$

Esta é uma variável de fundamental importância na resposta térmica do edifício, principalmente quando as taxas de ocupação e de ventilação não são elevadas e seus recintos não estão condicionados, salientam Akutsu, Vitorino e Caballeira (1995). Trata-se do processo de capacidade de uma edificação armazenar energia em forma de calor.

Contando com uma inércia térmica adequada e elementos com adequado isolamento, pode-se assegurar conforto interior durante as horas de maior temperatura e radiação solar no exterior e, dessa forma, controlar o excesso de calor.

No que se refere aos cálculos matemáticos para verificação da inércia térmica, Akutsu, Vitorino e Caballeira (1995) destacam que a temperatura do ar interior considerada nos dias anteriores é igual ao dia em questão, dado importante, considerando que a temperatura do ar interior ao longo de um dia pode ser afetado significativamente pelas características do dia anterior.

2.2.1.2 Fechamentos transparentes

Conforme Rivero (1985), os materiais transparentes apresentam alguns inconvenientes: elevada transmissão térmica (grandes trocas térmicas ocorrem nesses materiais), deficiências acústicas (deixam passar facilmente os ruídos) e custo, pois são mais caros que os fechamentos opacos. Os vidros possuem, geralmente, alta transmitância térmica (U), ou seja, são bons condutores de calor e permitem a transmissão direta da luz solar, o que eleva a transmissão térmica para o interior dos ambientes.

Grandes áreas envidraçadas permitem ganhos ou perdas excessivas de calor, ou seja, há um acréscimo no consumo anual de energia com o aumento da porcentagem de janela na fachada (GHISI e TINKER; 2005 apud PÉREN, 2006). Além disso, para amenizar o desconforto causado por esse ganho ou perda de calor, torna-se mais intenso o uso de ar condicionado ou de sistemas de aquecimento, tendo como consequência aumento do consumo de energia.

Segundo Lamberts et al (2004) a radiação solar incidente num material transparente pode ser absorvida, refletida ou transmitida para o interior, dependendo dos coeficientes de absorção (α), reflexão (ρ) e transmissão (τ) do material. Quando utilizado os materiais transparentes como fechamentos em climas quentes, deve-se ter como principal objetivo a redução da transmissão da radiação solar e do ofuscamento interior, e, em períodos frios, a diminuição das perdas do calor interior (SANTOS, 2002). Além desse aspecto, o material transparente deve apresentar características apropriadas de transmissão de luz visível de acordo com a atividade que será desempenhada, compatibilizando as trocas térmicas com a iluminação necessária.

Givoni (1976) afirma que o efeito térmico das superfícies envidraçadas depende principalmente das propriedades espectrais dos vidros. A radiação solar de onda curta penetra através desses fechamentos e é absorvida nas superfícies internas provocando uma elevação da sua temperatura e a conseqüentemente emissão de radiação térmica (onda longa – até 10.000nm) para a qual o vidro é opaco. Dessa forma, pode-se dizer que a radiação solar entra facilmente no local mas encontra dificuldades para sair. Esse fenômeno chama-se efeito estufa que origina uma elevação da temperatura dentro dos ambientes.

Atualmente, com a finalidade de controlar a radiação solar de forma racional, admitindo quantidades adequadas da luz natural e do calor solar, projetistas contam com diversos tipos de elementos transparentes ou translúcidos que podem ser classificados em (SANTOS, 2002): vidros; películas para controle solar; policarbonatos e acrílicos.

As principais características das superfícies transparentes são o Coeficiente de Sombreamento – Cs e Fator Solar – Fs.

- Coeficiente de Sombreamento

Santos (2002) destaca que este coeficiente pode ser definido como a relação entre o ganho total da radiação solar de uma abertura externa e proteção solar qualquer. Esta relação é determinada sob um conjunto de condições ambientais e de incidência da radiação solar, comparada a uma abertura de referência, composta por vidro simples incolor (3mm), sob as mesmas condições (SANTOS, 2002).

O coeficiente de sombreamento serve para comparar o efeito do controle solar obtido por diferentes sistemas de aberturas ou combinações dessas com proteções solares internas e externas (SANTOS, 2002).

- Fator Solar (Fs)

Essa variável pode ser entendida como “a razão entre a quantidade de energia solar que atravessa a janela pelo que nela incide” (LAMBERTS, 2004). Este valor varia conforme o ângulo da incidência da radiação solar e é característico de cada tipo de abertura. Quando se diz que o Fs é de 0,87, como no caso do vidro simples, significa que 87% da radiação solar incidente sobre a janela penetra no interior do ambiente em forma de calor. O fator solar pode ser calculado por:

Na Tabela 2.4 são apresentados fatores solares para alguns tipos de superfícies transparentes:

Tabela 2.4 – Fator Solar para alguns tipos de superfícies transparentes

| Superfícies transparentes | Fator Solar F_s |
|----------------------------------|-------------------------------------|
| Transparente simples | 0,87 |
| Transparente duplo | 0,75 |
| Cinza (fumê) | 0,72 |
| Verde | 0,72 |
| Películas | |
| Reflexiva | 0,25 – 0,50 |
| Absorvente | 0,40 – 0,50 |
| Polícarbonato | |
| Claro | 0,85 |
| Cinza ou bronze | 0,65 |
| Tijolo de vidro | 0,56 |

Fonte: Adaptado Lamberts et al, 2004

- Transmitância da luz visível (T_v)

Esse fator relaciona a quantidade de radiação na região do espectro visível que é transmitida através do elemento transparente com o fluxo total de luz visível incidente (Santos, 2002).

- Trocas de calor através de materiais transparentes

Conforme Frota e Shiffer (1995), uma parede transparente exposta à incidência de radiação solar é sujeita a uma determinada diferença de temperatura entre os ambientes que separa, a Figura 2.4 ilustra o comportamento da radiação solar em um elemento transparente.

Em virtude de que nos fechamentos transparentes tem-se a parcela transmitida, a intensidade do fluxo térmico (q) que atravessa esse tipo de fechamento, deve incorporar a parcela que penetra por transparência (τI_g). Desse modo tem-se:

$$q = (\alpha U R_{se} + \tau) + U \Delta t$$

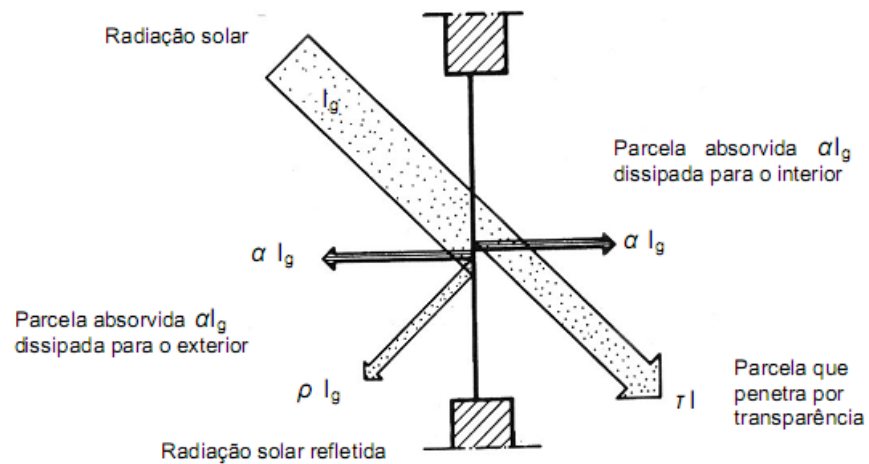


Figura 2.4 – Trocas térmicas através de fechamentos transparentes (FROTA, 1995)

A parcela $U \cdot \Delta t$ refere-se às trocas de calor por condução através do vidro e representa ganho quando $t_e > t_i$ e perda quando $t_i > t_e$. Já a parcela $(\alpha \cdot U \cdot R_{se}) + \tau$ refere-se aos ganhos de calor por radiação.

2.2.1.3 Proteções Solares

As proteções solares, por meio dos ângulos verticais e horizontais de sombreamento (AVS e AHS), proporcionam redução na incidência da radiação devido ao aumento do sombreamento e conseqüente redução da carga térmica ao aumentar o ângulo de sombreamento em relação à janela (CARLO, 2008). Na figura 2.5 é possível ver o AVS e AHS.

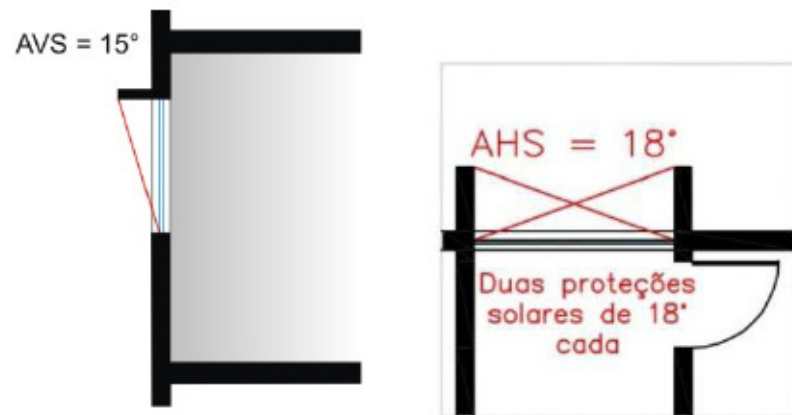


Figura 2.5 – Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS) e Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS)
Fonte: BRASIL, 2009-c

Conforme Roriz (2008), através das cartas solares, pode-se prever os ângulos de incidência dos raios solares, para cada hora de qualquer dia, sobre as superfícies das edificações. Essa previsão, entre outras coisas, permite detalhar projetos de proteções solares para proteger especialmente os fechamentos transparentes contra a radiação solar direta. A Figura 2.6 demonstra um exemplo de uma máscara de sombra para o estudo do AVS e AHS.

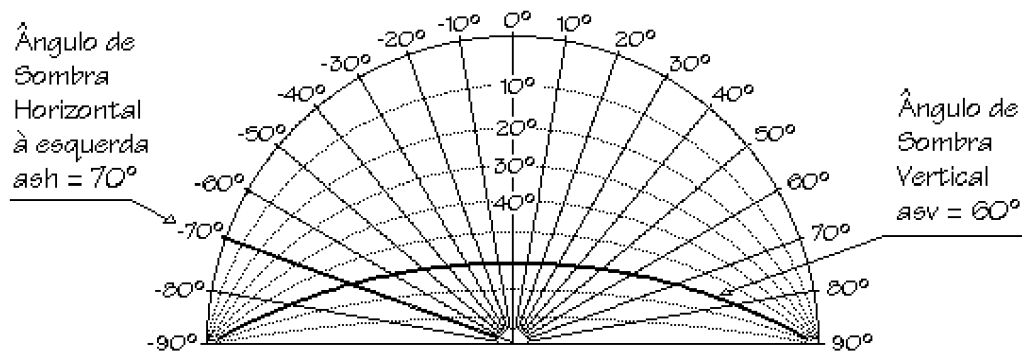


Figura 2.6 – Transferidor auxiliar para o estudo das proteções solares

Fonte: RORIZ, 2008

Para proteger os fechamentos transparentes da radiação solar direta, existem conforme Gonzalez (1986 apud WEBER, 2005), diferentes formas: orientar a edificação adequadamente; estudar o entorno onde se implantará a edificação para

que possa estar protegida por elementos já existentes e inserir dispositivos que protejam a entrada dos raios solares.

De acordo com Danz (1989 apud WEBER, 2005), um tipo de proteção solar referente ao entorno é a vegetação, uma forma natural e relativamente fácil de proteção para edificações baixas. Pode se fazer uso dela para sombrear e barrar a radiação solar em determinadas horas do dia, de maneira a diminuir a temperatura do ar próximo à edificação.

Com relação aos dispositivos externos que protegem as aberturas, Weber (2005) destaca que existe uma gama diversificada de tipologias, entre elas podemos encontrar: os beirais; cobogós; toldos; light shelf (também conhecido como prateleira de luz) e, por fim, a redução da ação direta do sol também pode ser feita com brises, um anteparo composto por uma série de peças, colocado em fachadas. Suas peças podem ser móveis ou fixas, dispostas na horizontal ou vertical e, ainda, a combinação destas.

De acordo com Bittencourt (2004), os brise-soleils podem ser classificados em três tipologias básicas: brise vertical - mais indicado para incidências oblíquas em relação à fachada; brise horizontal – é muito eficiente para grandes alturas solares e, brise combinado – é uma tipologia que une as características dos dispositivos verticais e horizontais.

Já com relação ao processo de definição do tipo de protetor solar a ser projetado, Bittencourt (2004) afirma que vários fatores devem ser considerados, tais como: eficiência da proteção, plasticidade, privacidade, luminosidade, ventilação, visibilidade, durabilidade, custos de implantação e manutenção. A partir de uma adequada análise dos custos e benefícios obtidos pela combinação entre esses fatores se poderá apontar o tipo indicado para cada caso.

2.2.2 Ventilação Natural

As formas de ventilar podem ser classificadas em dois grandes grupos: ventilação natural e artificial ou mecânica (RIVERO, 1985). Enquanto a ventilação natural baseia-se na diferença das pressões causadas pela ação dinâmica do vento ou pelas diferentes temperaturas desses dois meios, a ventilação artificial ou

mecânica é produzida por equipamentos que requerem energia elétrica ou algum tipo de combustível.

A ventilação é o movimento das massas de ar, sua principal função é fornecer o volume de ar necessário à respiração ao diluir a concentração de poluentes e restabelecer os níveis de oxigênio.

Em uma edificação, a correta posição das aberturas é responsável pelo aproveitamento da ação dos ventos, garantindo o direcionamento dos mesmos no interior dos ambientes, seja pela ventilação cruzada, seja pela diferença de pressão que favore o movimento convectivo (COSTA, 2003).

Segundo Allard (1998), os edifícios devem ser projetados em conjunto com os sistemas de ventilação que usam as forças naturais do vento e as diferenças térmicas, já que é a própria arquitetura da edificação e seus componentes que reduz ou incrementa o movimento do ar no seu interior e que auxilia na qualidade do ar.

A ventilação no interior dos ambientes permite a renovação do ar, através da ventilação higiênica, responsável pela garantia de um ar seco e saudável. É obtida principalmente através do posicionamento de aberturas mais próximas ao forro. Já a ventilação de conforto, caracteriza-se pela movimentação do ar na altura do usuário, a qual contribui para as trocas térmicas entre calor por convecção e evaporação entre o corpo e o ar interno do recinto, melhorando conforto térmico de verão.

Ainda Allard (1998), afirma que, após finalizado o edifício, os sistemas de ventilação mecânica ou artificial podem ser instalados e dimensionados sem maiores problemas, desde que seus respectivos cálculos de taxas de ventilação e cargas térmicas sejam bem estudados. Entretanto, contrariando essa afirmação, a ventilação natural em edifícios deve ser considerada desde a concepção.

A ventilação natural tem vários benefícios: melhora a qualidade do ar interno; melhora o conforto térmico dos ambientes internos; promove a troca térmica da estrutura do edifício, resfriando-o e diminui os gastos de energia com sistemas de aclimatação artificial

Referindo-se aos climas temperados e à ventilação, Rivero (1985) destaca mais uma ambigüidade relativa a este tipo de clima, ao informar que, para o arquiteto, a situação complexa se dá nas zonas temperadas, que têm um período frio e outro quente. Nesse caso a arquitetura exige uma adaptação das diferentes necessidades, a ventilação higiênica para o inverno e a ventilação de verão, que deverá satisfazer tanto as higiênicas quanto as térmicas. Esta dupla condição vai se

refletir na localização, área e forma de abrir dos dispositivos, de maneira que no inverno o fluxo se desloque pela zona superior, para evitar o efeito direto sobre as pessoas, enquanto que no verão a massa de ar se movimentará por todo o espaço.

A definição de qualquer forma arquitetônica deverá atender aos princípios relativos à ventilação, seja natural ou artificial. Sendo prioridade da forma, favorecer a adequada direção e velocidade do ar através do ambiente. A figura 2.7 mostra os estudos esquemáticos para Farmácia do Hospital Sarah Salvador, do arquiteto João Figueiras Lima – o Lelé, onde são utilizados sistemas de ventilação natural e artificial.

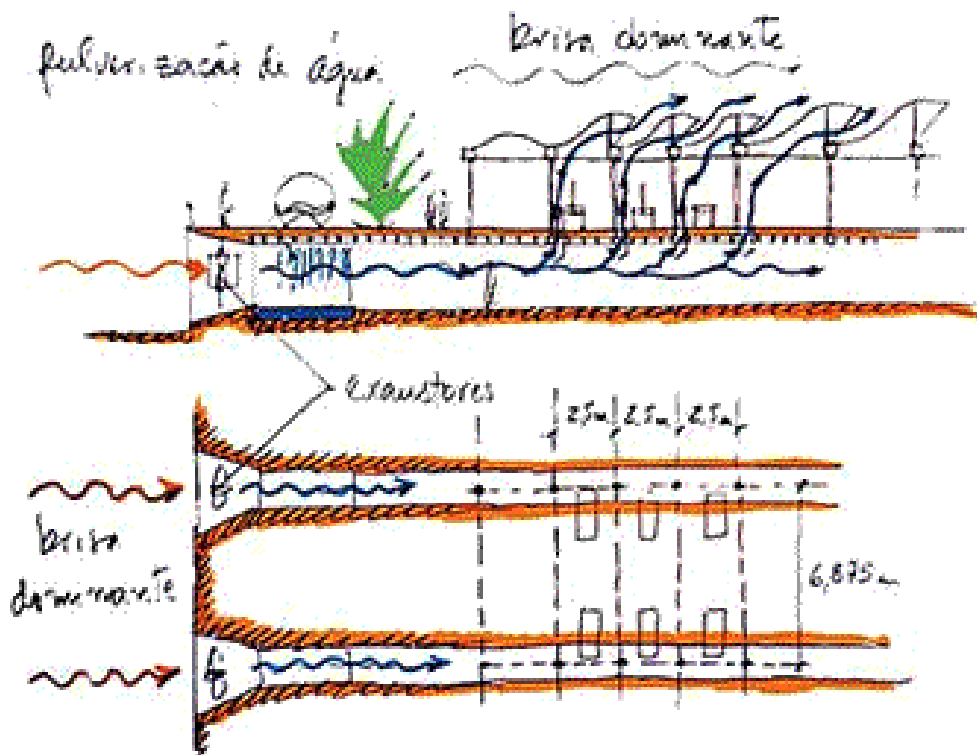


Figura 2.7 – Esquema explicativo do sistema de ventilação de um hospital da Rede Sarah
 FONTE: Projeto Design, 2000

Atualmente as simulações computacionais estão sendo bastante utilizadas para analisar os fluxos de ar no interior e exterior das edificações, devido principalmente a complexidade do estudo desses fenômenos relacionados a ventilação natural e artificial.

2.3 Eficiência energética nas edificações

A eficiência energética pode ser entendida como a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia. Portanto, segundo Lamberts et al. (2004), um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais de conforto com menor consumo de energia.

Goulart (2008) complementa que através de um uso racional da energia no edifício busca-se então, uma diminuição no consumo de energia nos usos finais de iluminação, equipamentos, e aquecimento de água, junto à incorporação de fontes renováveis de energia. Edificações energeticamente mais eficientes somente são possíveis através de projetos que desde a sua concepção incluam critérios de eficiência energética.

Um projeto Bioclimático, contempla iluminação natural, ventilação natural, verifica o zoneamento bioclimático brasileiro, especifica o uso de aparelhos e equipamentos energeticamente eficientes com etiqueta fornecida pelo INMETRO e incorpora energias renováveis, como o aquecimento solar (CUNHA E SILVA, 2010).

2.3.1 Sistema de iluminação eficiente

Amorim (2000) apresenta dois modos de obter maior eficiência através do uso da luz natural controlada. O primeiro, através de uma economia direta, onde o uso otimizado da luz natural resultará em uma redução do uso da luz artificial. Desta forma, é importante que o projeto de luz artificial seja integrado desde o início com o estudo do comportamento da luz natural. Já o segundo, ocorre através de uma economia indireta, através da redução da carga do ar condicionado. Quando há um bom projeto de luz natural, proporcionando a entrada de luz natural difusa controlada, há menores ganhos de calor solar e reduzem-se os ganhos de calor gerados pela iluminação artificial.

A utilização de fontes artificiais de luz está relacionada à disponibilidade da luz natural no interior do ambiente construído. O uso da luz artificial também está associado ao desconforto térmico e visual devido à incidência direta dos raios

solares. Nesta situação, o usuário bloqueia o ingresso da luz natural e aciona a artificial se necessário.

A iluminação artificial, constituída de um conjunto de dispositivos que compreende as lâmpadas, as luminárias e os reatores, tem a vantagem de apresentar o fluxo luminoso relativamente homogêneo ao longo de sua vida útil, proporcionando a criação de um ambiente com iluminação praticamente invariável para o usuário, desde que bem projetada e dimensionada. Durante o dia, esse tipo de luz é utilizada como complemento à luz natural e, à noite, torna-se a principal fonte de luz para a realização das atividades.

Por outro lado, a luz natural apresenta uma variabilidade de intensidade, devido, principalmente, à variação da trajetória aparente do sol na abóbada celeste durante os dias e o ano e também a presença de nuvens. Mesmo assim, a luz natural é preferida à luz artificial, pois preenche necessidades psicológicas, devido aos estímulos causados pela sua variabilidade e capacidade de oferecer boa visão (BOYCE, 1998 apud HARA, 2006). Esta se relaciona à intensidade e à representação das cores com fidelidade. A preferência à luz natural também está associada a presença de janelas que permitem seu ingresso e o contato visual com o exterior.

Um projeto de iluminação eficiente deve considerar todas as variáveis arquitetônicas envolvidas para que se utilize o máximo do potencial da luz natural, fazendo com que a iluminação artificial atue de forma complementar a esta. Com isso é fundamental que o projetista considere aspectos básicos na concepção do projeto arquitetônico, como a orientação solar, o estudo do entorno, o dimensionamento dos fechamentos transparentes e o uso de elementos de proteção da radiação solar, quando necessário, que auxiliam na coleta da luz natural para o ambiente interno. A luz natural deve ser explorada através do dimensionamento correto de aberturas e, assim, reduzir o uso de iluminação artificial durante o dia (GOULART, 2008).

Um conceito importante a ser destacado dentro deste contexto de iluminação artificial é a densidade de potência. Trata-se de uma grandeza que relaciona a potência total instalada em watt em um sistema de iluminação para cada metro quadrado de área. Com esta grandeza é possível verificar a eficiência de um sistema luminotécnico, este apresenta-se mais eficiente que outro, quando ao

proporcionar o mesmo nível de Iluminância do outro, porém consumindo menos watts por metro quadrado (OSRAM, 2007).

Neste sentido, a iluminação artificial de complementação à luz natural deve ser feita com a utilização de lâmpadas e luminárias eficientes, com baixo consumo de energia e pouca produção de calor, diminuindo ainda mais os gastos com iluminação artificial e até mesmo com condicionamento artificial, já que o calor no interior da edificação também será reduzido.

A agenda elétrica sustentável 2020 (WWF, 2006) ressalta que as tecnologias de iluminação têm avançado significativamente nas últimas décadas. A ampla disseminação de lâmpadas fluorescentes compactas que substituem iluminação incandescente, o aperfeiçoamento de componentes eletrônicos e luminárias têm contribuído para a contínua redução de eletricidade consumida.

E, dentro do conceito de eficiência energética em iluminação, uma tecnologia atual que merece ser destacada são as lâmpadas de luminescência conhecidas por LED (Diodo de Emissão de Luz). Conforme destaca Pinto (2008), duas importantes vantagens do LED são a sua elevada vida útil, a qual pode atingir até 50.000 horas e a sua alta eficiência luminosa, comparando uma lâmpada fluorescente de 80 lm/W com uma lâmpada de LED que atinge 100 lm/W, até fabricantes como a empresa Cree, a qual divulgou eficácia luminosa de suas lâmpadas de LED em 131 lm/W, e

O usuário também é um elemento chave quando se busca economizar energia elétrica. Conforme ressalta Leslie (2003), a admissão de luz natural não implica diretamente na economia de energia, mas sim a abstenção do usuário de ligar a luz artificial.

2.3.2 Aparelhos eficientes e o sistema de condicionamento de ar

Em condições climáticas extremas de calor, o ar condicionado é a intervenção mais adequada a ser feita para garantir o conforto térmico dos usuários. Neste caso, Goulart (2008) destaca que se deve garantir a estanqueidade dos ambientes, evitando a infiltração do ar exterior, e optar por aparelhos mais eficientes. Além disso, o projetista deve observar os cuidados requeridos na instalação do

equipamento, não expondo-o ao sol e prevendo o isolamento térmico dos fechamentos da edificação.

Em edifícios comerciais e públicos, geralmente o uso do ar condicionado é necessário, pois o desconforto pode significar perda de clientes e baixa produtividade. Entretanto, muito pode ser feito pelo projetista para reduzir a demanda de condicionamento artificial e o conseqüente consumo de eletricidade.

Nesse contexto, o desempenho térmico do envelope de uma edificação deve estar de acordo com o clima onde o edifício está inserido a fim de corresponder as exigências humanas de conforto térmico. No caso de ambientes condicionados, Akutsu e Vittorino [19--] afirmam que a demanda de cargas térmicas, decorrente destas exigências, devem ser verificadas. “Quanto menores as cargas térmicas de condicionamento, melhor o desempenho térmico da edificação” (AKUTSU e VITTORINO, [19--]).

2.4 Métodos e sistemas de classificação e avaliação dos edifícios

Os impactos ambientais podem ser consideravelmente minimizados com o estabelecimento de políticas consistentes e especificamente orientadas para o setor. Tais políticas, como a adoção de sistemas de avaliação e classificação do desempenho ambiental e da sustentabilidade de edifícios, representam um papel fundamental nesse processo (SILVA, 2003).

A regulamentação e certificação de energia são apresentadas por Goulart (2008, p. 24) como os principais meios para promover a avaliação energética no setor da construção civil, a autora diferencia:

“Regulamentação em eficiência energética estabelece limites máximos de consumo ou tabelas prescritivas com valores mínimos de eficiência, além de estabelecer ferramentas para a avaliação de desempenho energético de edifício. Certificação de energia é um mecanismo de mercado, cujo principal objetivo é promover padrões mais altos de desempenho de energia do que as regulamentações prescritivas.”

Classificar o desempenho energético de edifícios vem se tornando um aspecto de extrema importância do edifício em operação. Silva (2003) salienta que,

além de encorajar e contribuir para a melhoria do desempenho dos edifícios, a avaliação dos mesmos resulta em muitos outros benefícios, tais como: a melhoria da imagem pelo mercado das empresas e profissionais que adotam práticas de projeto e construção mais sustentáveis; a valorização comercial dos edifícios com maior desempenho ambiental; a redução de custos em longo prazo; qualidade do ambiente interno e satisfação do usuário; o estímulo para elevação do nível de desempenho de edifícios novos e existentes e conhecimento dos impactos gerados pelas edificações, possibilitando identificar metas para melhorias.

Um edifício com uma classificação alta pode ser elegível para um reconhecimento especial através de um programa obrigatório ou voluntário. Este reconhecimento valoriza o imóvel. Os sistemas de classificação ajudam a identificar edifícios que consomem muita energia. O uso desta abordagem é crescente e vem sendo usada por vários países (OLOFSSON et al, 2004, apud GOULART, 2009).

Um método para classificação energética de edificações deve ser tecnicamente consistente, com itens ponderados para refletir prioridades e interesses nacionais. Deve ainda ser viável na prática, adaptado ao mercado, bem como às tradições locais de construção e ainda ser absorvido e difundir-se rapidamente, desenvolvido em parceria com as principais partes interessadas (KLÜSENER, 2009).

Para que se atinja a sustentabilidade das edificações, antes de tudo é necessário que seja criado um referencial que estabeleça a partir de quais critérios se analisa a inclusão de preocupações ambientais, sociais e econômicas na concepção e execução de um edifício.

Os sistemas de classificação ou “*benchmarking*” podem ser categorizados pelo método no qual a informação do sistema de classificação ou referência é fornecida. Klüsener (2009) destaca quatro técnicas de determinação de classificação: análise estatística, baseada em pontos, baseada em modelo de simulação e, por fim, em sistemas de hierarquia e medida de uso-final.

- análise estatística: é um método que utiliza valores estatísticos para uma população de edifícios, exige uma grande quantidade de dados para produzir uma amostra de tamanho razoável para comparação;
- sistema de pontos: este método não permite comparação com outros edifícios, e sim, fornece padrões e guias de projeto para medir o quanto eficiente é um edifício, além de verificar os padrões de boa prática de projeto;

- modelo de simulação: calcula a marca de referência baseado em um modelo idealizado de desempenho de edifício, tem muito uso em sistemas de classificação, pois em função da possibilidade de adaptação, pode-se contar com um grande intervalo de fatores que contribuem para a variação no uso de energia;
- hierarquia e medida de uso-final: o método menciona a geração de marca de referência que faz a ligação do uso de energia com o clima e requerimentos funcionais.

Entretanto, é conveniente salientar que as ferramentas de avaliação fornecidas por uma regulamentação, bem como os indicadores de desempenho de energia adotados, são fatores atrelados ao êxito do controle do consumo de energia do setor da construção (GOULART, 2008). As duas situações apresentam-se muito heterogêneas nas normas de eficiência energética nos diferentes países, e da mesma forma, os limites que são estabelecidos para os requisitos. Outro aspecto importante para garantir a certificação é o fornecimento das informações sobre o desempenho de energia do edifício, que devem ser claras e detalhadas.

Sobre outro enfoque, o alcance das exigências normativas é limitado à garantia de um desempenho mínimo, havendo pouco incentivo para procurar atender a patamares superiores (SILVA, 2003).

Especificamente sobre o desempenho ambiental, acredita-se que estas alterações não serão possíveis até que os empreendedores da construção civil e os usuários dos edifícios tenham acesso a métodos relativamente simples que lhes permitam identificar aqueles edifícios com melhor desempenho. (NRCan/CANMET, 1998, apud SILVA, 2003).

As normas ou códigos de edificações de vários países 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. A avaliação pode estar relacionada ao empreendimento como um todo, ao edifício propriamente dito ou a partes dele - zonas, elementos ou materiais. Em resumo, segundo Bragança (2008), o objetivo das metodologias de avaliação consiste em especificar um determinado nível a ser atingido sob diferentes aspectos, em escala global ou regional.

2.4.1 Avaliação de edificações em âmbito mundial

As primeiras iniciativas de regulamentação de eficiência energética em edificações surgiram em 1970, após a crise mundial do petróleo (SHALDERS NETO, 2003). Diversos países, especialmente os países mais desenvolvidos, com maior grau de dependência desse insumo energético, lançaram programas de incentivo à redução do consumo de energia, resultando, em meados do ano de 1992, na instituição de regulamentos de desempenho térmico e energético (SHALDERS NETO, 2003).

Atualmente, praticamente todos os países da Europa, além de Estados Unidos, Canadá, Austrália, Japão e Hong Kong, possuem um sistema de avaliação e classificação de desempenho ambiental de edifícios (GOULART, 2008).

As prescrições para envoltivo da edificação capazes de influenciar nas alternativas de projeto de coberturas, paredes e janelas são incorporadas à regulamentação em grande parte destes países, afirma Shalders Neto (2003). Ainda, em quantidade menor, prescrições para os sistemas mecânicos e de iluminação são definidos nos regulamentos.

As normas da ASHRAE são destacadas por Shalders Neto (2003) como os importante referência nos processos de desenvolvimento dos regulamentos em diversos países.

A ASHRAE - *Standard 90.1 – Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*: norma americana de eficiência energética, tem como objetivo estabelecer as exigências mínimas para eficiência energética de projetos para novas edificações (ASHRAE/IES, 1989). Em resumo, apresenta como o edifício deve ser construído, bem como qual a forma de uso e manutenção, visando minimizar o uso de energia sem limitar conforto e a produtividade dos usuários. Também apresenta

critérios para projetos de eficiência energética e métodos para determinar a conformidade com estes critérios. Aborda, 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, método estático utilizado para a determinação das necessidades térmicas de para resfriamento e aquecimento, relacionando a uma tabela com prescrições limites para componentes opacos e transparentes.

Os Estados Unidos, no seu contexto de normas de eficiência, contam com o sistema LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), norma voluntária, criada para o desenvolvimento de edifícios de alta performance e sustentáveis. O sistema LEED foi desenvolvido pelos membros do U.S. *Green Building Council* (USBC), o qual o define como um sistema de classificação de desempenho consensual e orientado para o mercado, visando acelerar o desenvolvimento e a implementação de práticas de projeto e construção ambientalmente responsáveis (GOULART, 2008).

A estrutura de avaliação do sistema LEED está dividida em categorias que contém um número de pontos específicos: *siting* (desenvolvimento sustentável local); *water conservation* (uso eficiente da água); *energy* (energia); *materials* (materiais); *indoor environmental quality* (qualidade ambiental interna); *innovation* (inovação) e *design* (processo de projeto). Cada categoria contém um número de créditos específicos, que corresponde a um ou mais pontos possíveis. Um projeto que ganha pontos suficientes, pode tornar-se "LEED Certified". Para ganhar pontos na categoria de energia, o projeto deve estar em conformidade com a ASHRAE/IESNA 90.1 – 1999 de refrigeração ou aquecimento artificial (GOULART, 2008).

No Reino Unido, destaca-se o ISBE - *International Initiative for a Sustainable Built Environment* e o BREEAM - *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*. Este último lançado em 1990, é baseado em critérios e *benchmarks*, avalia o desempenho de edifícios em oito categorias: gestão, uso de energia, saúde e bem estar, poluição, transporte, uso do solo, materiais e uso eficiente da água. A avaliação destas categorias estabelece 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 (GOULART, 2008).

Segundo Goulart (2008) o método BREEAM Offices é o método mais usado mundialmente para rever e melhorar o desempenho ambiental de edifícios comerciais, decorrente da habilidade de cobrir uma grande gama de questões ambientais dentro de uma única avaliação, e apresentar os resultados de uma maneira facilmente compreendida por aqueles envolvidos.

2.4.2 Avaliação de edificações no Brasil

As normas brasileiras: NBR 15220 (ABNT, 2005) e NBR 15575 (ABNT, 2008) são resultado de discussões iniciadas em 1991 (CHICHIERCHIO; FROTA, 1991; LAMBERTS, 1991 apud CARLO E LAMBERTS, 2010). Essas normas apresentam requisitos e especificações relativas ao desempenho das edificações, porém nenhuma apresenta parâmetros ou requisitos visando diretamente à eficiência energética das mesmas, além de referenciar somente edificações residenciais.

A primeira iniciativa no âmbito de legislações efetivamente instituídas para promover a eficiência energética no país surgiu como consequência da crise de energia de 2001 (LAMBERTS et al, 2007).

Como apresentado anteriormente, a certificação energética de edifícios é uma tendência mundial, já adotada por diversos países e em desenvolvimento por outros. O Brasil junta-se a esse grupo em fevereiro de 2009, com o lançamento do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) (BRASIL, 2009c), com a participação do INMETRO e do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), conforme Carlo e Lamberts et al (2007). Essa iniciativa vem atender à Lei nº 10.295, a primeira lei de eficiência energética no Brasil, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia (BRASIL, 2001b) a qual foi regulamentada pelo Decreto nº 4.059, de 19 de outubro de 2001 (BRASIL, 2001a).

O regulamento estabelece parâmetros para a definição do nível de eficiência de um edifício e posterior fornecimento da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), propondo duas maneiras de provar a conformidade com a regulamentação: seguindo os requisitos para a envoltória, o sistema de iluminação e o sistema de condicionamento de ar, com a aplicação do método prescritivo ou

usando a simulação para comparar os resultados com um edifício similar que está de acordo com os requisitos da classificação pretendida.

Em setembro de 2010 o RTQ-C sofreu alterações caracterizando uma nova versão, a qual é utilizada atualmente. Em seguida, no mês de dezembro de 2010, o PROCEL INFO (Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética) anuncia o lançamento no Brasil a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia para residências e edifícios multifamiliares, também promovida pela ELETROBRÁS e INMETRO. A avaliação das edificações residenciais baseia-se, principalmente, em aspectos que apresentam consumo significativo de energia elétrica numa residência, ou seja, o desempenho térmico da envoltória, com ênfase na iluminação e ventilação naturais, e na eficiência do sistema de aquecimento de água.

2.4.3 Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de serviços e Públicos - RTQ-C (BRASIL, 2010b)

Os Requisitos Técnicos da Qualidade de Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de serviços e Públicos (BRASIL, 2010b) especifica os métodos para classificação de edificações comerciais e públicas quanto à eficiência energética.

Implantado no ano de 2009, inicialmente de caráter voluntário, teve sua primeira versão regulamentada pela Portaria INMETRO n.º 53, de 27 de fevereiro de 2009, posteriormente sucedida pela Portaria INMETRO n.º 163, de 08 de junho de 2009 e atualmente a última versão revisada é apresentada na Portaria INMETRO n.º 372, de 17 de setembro de 2010 (RAMOS e LAMBERTS, 2010). Passará a ter caráter obrigatório no prazo de cinco anos a partir da data de implementação.

As exigências para aplicação do regulamento estabelecem que as edificações devam apresentar área total útil igual ou superior a 500 m² e/ou tensão de abastecimento mínimo de 2,3 KV, independente de ser condicionado ou não condicionado.

A classificação do nível de eficiência energética de edificação é dividida em três requisitos: desempenho da envoltória, do sistema de iluminação e do sistema de condicionamento de ar. A etiqueta pode ser fornecida separadamente para cada

requisito a toda ou a parte da edificação. Cada etiqueta apresenta pré-requisitos específicos para obtenção da classificação parcial e geral.

A obtenção da classificação geral é a partir das classificações dos sistemas individuais. A cada sistema são atribuídos pesos, distribuídos da seguinte forma:

Envoltória – 30%

Sistema de iluminação – 30%

Sistema de Condicionamento de ar – 40%

Os sistemas individuais avaliados utilizam equivalentes numéricos, correspondente a cada eficiência, conforme Tabela 2.5.

Tabela 2.5 – Equivalente Numérico para cada nível de eficiência

| | |
|---|---|
| A | 5 |
| B | 4 |
| C | 3 |
| D | 2 |
| E | 1 |

Fonte: BRASIL, 2010b

O nível de eficiência geral do edifício é calculado a partir da Equação 2.1 (BRASIL, 2010b), de acordo com os pesos para cada sistema.

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

(Equação 2.1)

Onde:

EqNumEnv: equivalente numérico da envoltória;

EqNumDPI: equivalente numérico do sistema de iluminação, identificado pela sigla DPI (Densidade de Potência de Iluminação);

EqNumCA: equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar;

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 (varia de zero a 1).

O EqNumV corresponde a pontuação obtida a partir da comprovação por simulação que o ambiente interno das áreas de permanência prolongada não condicionadas proporciona temperaturas dentro da zona de conforto durante um percentual de horas ocupadas. Para edifícios naturalmente ventilados ou que possuam áreas de longa permanência esta comprovação é obrigatória. Os valores para este equivalente numérico, a ser usado na Equação 2.1, são apresentados na Tabela 2.6.

Tabela 2.6 – Equivalentes numéricos para ventilação natural

| Percentual de Horas Ocupadas em Conforto | EqNumV | Classificação Final |
|--|--------|---------------------|
| $POC \geq 80\%$ | 5 | A |
| $70\% \leq POC < 80\%$ | 4 | B |
| $60\% \leq POC < 70\%$ | 3 | C |
| $50\% \leq POC < 60\%$ | 2 | D |
| $POC < 50\%$ | 1 | E |

Fonte: BRASIL, 2010b

As bonificações são iniciativas que aumentam a eficiência da edificação, podendo receber até um ponto na classificação geral. Para tanto, essas iniciativas deverão ser justificadas e a economia gerada deve ser comprovada. Essas se caracterizam como sistemas e equipamentos que racionalizem o uso da água, sistemas ou fontes renováveis de energia.

O lançamento dos valores das variáveis na Equação 2.1 resultará um número de pontos, o qual definirá a classificação geral da edificação conforme tabela 2.7.

Tabela 2.7 – Classificação Geral

| PT | |
|----------------------|---|
| ≥ 4.5 a 5 | A |
| ≥ 3.5 a < 4.5 | B |
| ≥ 2.5 a < 3.5 | C |
| ≥ 1.5 a < 2.5 | D |
| < 1.5 | E |

Fonte: BRASIL, 2010b

Esta classificação, que varia de A (mais eficiente) a E (menos eficiente), é apresentada na ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (Figura 2.8).

A obtenção do Selo PROCEL (BRASIL, 2010b) está condicionada ao nível de classificação geral A. Os três requisitos parciais não são pressupostos básicos para a classificação geral A, a bonificação deve ser sempre considerada. Porém, para ser elegível à etiquetagem, os edifícios em geral devem apresentar pelo menos circuito elétrico com possibilidade de medição centralizada por uso final. Caso contrário, o nível de eficiência do edifício máximo a ser alcançado será C, independente das demais classificações parciais.

As edificações com consumo de água quente igual ou maior a 10% do consumo de energia devem apresentar uma estimativa dessa demanda.

Ainda quanto a este pré-requisito, edifícios que tenham apenas aquecimento elétrico da água atingirão no máximo nível C, desde que estes aquecedores elétricos, de passagem, chuveiros elétricos e torneiras elétricas (com potência menor ou igual a 4.600W) e os aquecedores elétricos de hidromassagem (com potência menor ou igual a 5.000W), possuam eficiência energética superior a 95% e, ainda, participar do Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE/INMETRO. Já os aquecedores elétricos por acumulação devem possuir etiqueta com classificação A, segundo regulamento específico do PBE/INMETRO.

O pré-requisito, no caso da edificação possuir elevador, limita a classificação em função das características deste, de acordo com a tabela 2.9.

Tabela 2.9 – Relação entre a característica do elevador e o nível de eficiência

| Característica do Elevador | NÍVEL A | NÍVEL B |
|---|---------|---------|
| micro processado com inversor de frequência | Sim | Sim |
| frenagem regenerativa | Sim | |
| máquinas sem engrenagem (<i>gearless</i>) | Sim | |

Dentro do contexto dos métodos propostos pelo RTQ-C, é válido destacar:

A simulação é aplicável para qualquer tipo de edifício, sendo ou não passível de avaliação pelo método prescritivo. No entanto, o método prescritivo é menos oneroso, e recomenda-se a simulação quando a simplicidade do método prescritivo não descreve apropriadamente as características do edifício que participam da eficiência energética. Assim, além da ventilação natural, são casos indicados para simulação: proteções solares projetadas para algum caso específico, como proteções com aletas que reflitam a luz para dentro do ambiente, grandes áreas envidraçadas com vidros de elevado desempenho térmico e luminoso, sistemas de condicionamento não previstos como pisos radiantes e especificidades do projeto de condicionamento de ar, como opções de automação ou resfriamento evaporativo. (LAMBERTSe CARLO, 2010, p. 12)

2.4.3.1 Envoltória

O método de classificação de eficiência da envoltória é baseado em um indicador de consumo (ICenv) obtido através de uma equação, que depende da

zona bioclimática onde a edificação está inserida, da área de projeção do edifício (A_{pe}) e do fator de forma da edificação ($FF = A_{env}/V_{tot}$).

A determinação da zona bioclimática é apresentada na NBR 15220-3 (ABNT, 2005c), a qual estabelece o zoneamento bioclimático brasileiro. Aqui serão apresentadas apenas as informações que se referem a Zona Bioclimática 2, por nela se inserir o objeto de estudo deste trabalho. Para essa zona o RTQ-C apresenta duas equações (Equação 2.2 e 2.3) na determinação do ICenv da edificação:

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

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

$$IC_{env} = -175,30.FA - 212,79.FF + 21,86.PAF_T + 5,59.FS - 0,19.AVS + 0,15.AHS + 275,19.FA/FF + 213,35 - 0,54.FA.FF - 0,04.PAF_T.FS.AVS - 0,45.PAF_T.AHS + 190,42$$

(Equação 2.2)

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

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

$$IC_{env} = -14,14.FA - 113,94.FF + 50,82.PAF_T + 4,86.FS - 0,32.AVS + 0,26.AHS - 35,75/FF - 0,54.PAF_T.AHS + 277,98$$

(Equação 2.3)

Onde as variáveis das Equações 2.2 e 2.3 são:

ICenv: indicador de consumo da envoltória (adimensional);

Ape: área de projeção do edifício (m^2), delimitada pela projeção horizontal do edifício;

Atot: área total de piso fechada de construção (m^2), medidas externamente;

Aenv: área da envoltória (m^2), somatório da área total das quatro fachadas e da área de cobertura (telhas e oitões);

Apcob: área de projeção da cobertura (m^2), área da projeção horizontal da cobertura incluindo as varandas;

Vtot: volume total da edificação (m^3), delimitado pelos fechamentos externos da edificação - fachadas e cobertura;

AHS: Ângulo Horizontal de Sombreamento, referente às proteções solares verticais nas aberturas, entre 0 e 45 ° (ver figura 2.5);

AVS: Ângulo Vertical de Sombreamento, referente às proteções solares horizontais nas aberturas, entre 0 e 45° (ver figura 2.5);

FA: Fator Altura, determinado pela relação entre a área de projeção de cobertura (Apc) e a área de piso (Atot);

FF: Fator de Forma, calculado a partir da relação entre a área da envoltória (Aenv) e o volume do edifício (Vtot);

FS: Fator Solar (conforme definição dada no item 2.2.1.2);

PAFt: Percentual de Área de Abertura na Fachada Total (adimensional), determinado pela razão entre o somatório das áreas transparentes ou translúcidas das quatro fachadas e a área total de fachada da edificação.

O indicador de consumo obtido deve ser comparado a uma escala numérica dividida em intervalos que descrevem um nível de classificação de desempenho que varia de A a E. Quanto menor o indicador obtido, mais eficiente será a envoltória da edificação. A escala numérica é determinada a partir dos indicadores de consumo máximo (ICmáxD) e mínimo da envoltória (ICmín). A identificação do nível de eficiência da envoltória do projeto é feita a partir da comparação do ICenv obtido na Equação 2.2 ou 2.3 com os limites apresentados na Tabela 2.12.

O ICmáxD é calculado utilizando-se a mesma equação do cálculo do indicador de consumo da envoltória (Equação 2.2 ou 2.3), mas com os parâmetros de entrada fornecidos pelo RTQ-C, apresentados na Tabela 2.10. O ICmáxD representa o indicador máximo que a edificação deve atingir para obter a classificação D. Acima desse valor, a edificação passa a ser classificada com o nível E.

Tabela 2.10 – Parâmetros do IC_{máxD}

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

Fonte: BRASIL, 2010b.

O limite mínimo (IC_{mín}) é calculado com a mesma Equação 2.2 ou 2.3, mas com parâmetros de entrada fornecidos pelo RTQ-C, apresentados na Tabela 2.11. O IC_{mín} representa o indicador de consumo mínimo para aquela volumetria.

Tabela 2.11 – Parâmetros do IC_{mín}

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

Fonte: BRASIL, 2010b.

Os limites IC_{máxD} e IC_{mín} representam o intervalo dentro do qual a edificação deve se inserir. O intervalo é então dividido em quatro partes (i), cada uma referente a um nível de classificação, numa escala de desempenho que varia de A a E. A subdivisão i do intervalo é calculada com a Equação 2.4. A partir do cálculo de “i”, a Tabela 2.12 deve ser preenchida.

$$i = \left(\frac{IC_{máxD} - IC_{mín}}{4} \right) \quad \text{(Equação 2.4)}$$

Tabela 2.12 – 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: BRASIL, 2010b.

A determinação do nível de eficiência da envoltória abrange variáveis importantes, algumas se apresentam diretamente na equação, outras são apresentadas no manual para aplicação do regulamento (BRASIL, 2009b), as quais merecem ser destacadas para melhor compreensão do regulamento.

Uma destas variáveis é a orientação solar das fachadas, a qual é determinada, por cada ponto cardinal, através de um limite de abrangência de 45° no sentido horário e anti-horário (Figura 2.9), ou seja, para fachadas orientadas em outras direções geográficas deve ser adotada a orientação mais próxima, da seguinte forma:

- orientação geográfica Norte: de 0 a 45,0° e de 315,1° a 360,0°;
- orientação geográfica Leste: de 45,1° a 135,0°;
- orientação geográfica Sul: de 135,1° a 225,0°;
- orientação geográfica é Oeste: de 225,1° a 315,0°.

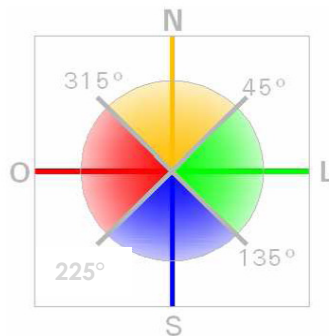


Figura 2.9 – Quadrantes para definição da orientação de fachada
Fonte: BRASIL, 2009c

Já o percentual de abertura de todas as fachadas (PAFt), outra variável da equação, é a razão entre a soma das áreas de aberturas envidraçadas, tanto dos fechamentos transparentes, como dos translúcidos, de cada fachada, e a área total de fachada da edificação. O PAFt utilizado corresponde a um valor médio representativo do percentual de aberturas de todas as fachadas. Para o uso desse valor, deve ser verificado o PAF para a fachada oeste (PAFO). Quando o PAFO for 20% maior que o PAFt, adota-se o PAFO, caso contrário deve ser utilizado o PAFt.

O sombreamento das aberturas, determinado pelos elementos de proteção solar horizontais e verticais, é outro fator verificado no cálculo do ICenv. A quantificação do efeito do sombreamento é realizada a partir dos ângulos verticais de sombreamento (AVSs) e os ângulos horizontais de sombreamento (AHSs). Os ângulos são medidos entre os planos das folhas de vidro e a aresta mais distante pertencente à proteção solar (ver figura 2.5).

Os AHSs referem-se às proteções solares verticais nas aberturas, são formados no plano horizontal, logo, são obtidos em planta baixa. Já os AVSs correspondem às proteções solares horizontais nas aberturas, formam-se no plano vertical, logo, são obtidos nos cortes.

O ângulo final é resultado da média ponderada dos ângulos de sombreamento em função da área de abertura sombreada. Entretanto, o ângulo final máximo a ser utilizado deve ser de 45°.

Além do ICenv, o qual quantifica a envoltória quanto às aberturas da fachada, considerando os elementos transparentes e/ou translúcidos, a determinação final do nível de eficiência deste sistema deve atender a pré-requisitos em função da caracterização dos fechamento opacos e transparentes referente a iluminação zenital.

De acordo com os pré-requisitos que devem ser atendidos será definido o nível de eficiência, conforme tabela 2.13. Não atendendo a nenhum pré-requisito, o nível máximo a ser alcançado no requisito envoltória é o nível E.

Tabela 2.13 – Relação entre os pré-requisitos e o nível de eficiência

| Pré-requisito a ser atendido | NÍVEL | | | |
|---|-------|-----|-----|-----|
| | A | B | C | D |
| Transmitância Térmica das paredes externas e da cobertura | Sim | Sim | Sim | Sim |
| Cor e absorvância de paredes e cobertura | Sim | Sim | | |
| Iluminação zenital | Sim | | | |

A transmitância térmica das paredes externas (Upar) definidas como superfícies opacas que delimitam o interior do exterior da edificação, excluindo as aberturas (BRASIL, 2010b), considerada para verificação de atendimento ao pré-

requisito, é a média ponderada das transmitâncias de cada parcela de parede externa pelas áreas que cada uma ocupa.

O RTQ-C (BRASIL, 2010b) determina que, nas edificações incluídas na Zona Bioclimática 2, a transmitância térmica das paredes externas deve ser igual ou inferior a $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ para obter classificação do nível de eficiência da envoltória em A, igual ou inferior a $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ para o nível B e igual ou inferior a $3,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ para os níveis C e D. No caso de transmitâncias superiores a $3,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ o nível limita-se a classificação E.

A exigência do RTQ-C (BRASIL, 2010b) quanto a transmitância térmica da cobertura para as edificações incluídas na Zona Bioclimática 2 são apresentadas na tabela 2.14. No caso de transmitâncias superiores a $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$, este nível limita-se a classificação E, tanto para ambientes condicionados ou não.

Tabela 2.14 – Relação do Nível de eficiência com a U_{cob} para ZB2

| | U_{cob} ($\text{W/m}^2\text{K}$) | |
|-------------|---|---------------------------|
| | Ambiente condicionado | ambiente não condicionado |
| NÍVEL A | $\leq 0,5$ | $\leq 1,0$ |
| NÍVEL B | $\leq 1,0$ | $\leq 1,5$ |
| NÍVEL C e D | $\leq 2,0$ | $\leq 2,0$ |

O limite estabelecido pelo RTQ-C (BRASIL, 2010b), quanto a cores e absorvância a radiação solar de superfícies para as edificações inseridas na Zona Bioclimática 2 é de coeficiente absorção (α) inferior a 0,5, correspondente as cores claras e médias, para os níveis A e B de eficiência, no caso da cobertura e somente nível A para as paredes. Não há exigências para os demais níveis.

A cor e a absorvância a radiação solar das paredes externas e cobertura considerada para verificação do atendimento deste pré-requisito é a média ponderada de cada parcela de fachada ou cobertura pela área que ocupam.

2.4.3.2 Sistema de Iluminação

O sistema de iluminação é classificado por dois diferentes métodos de avaliação, os quais consideram o limite de potência instalada. Ainda, verifica os critérios de controle do sistema, através do atendimento a pré-requisitos específicos.

Ramos e Lamberts (2010) afirmam que o método proposto pelo RTQ-C fundamenta-se no método já consagrado pela ASHRAE/IESNA Standard 90.1 - *Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*.

Um dos métodos é denominado Método da Área do Edifício, baseia-se na comparação entre a densidade de potência instalada no edifício (W/m^2) e a densidade de potência limite para o mesmo. Este método deve ser utilizado para edifícios com até três atividades principais, ou para atividades que ocupem mais de 30% da área do edifício. Neste método deve ser identificada, nas tabelas apresentadas no RTQ-C, a atividade principal do edifício e a densidade de potência limite (DPI_L) correspondente. A DPI_L é multiplicada pela área iluminada do edifício a fim de obter a potência limite para cada nível. A esta potência limite comparam-se os valores de potência instalada e determina-se o nível de eficiência do sistema de iluminação.

O outro método, denominado Método das Atividades do Edifício, é aplicado em situações em que o método anterior não pode ser utilizado. Este método apresenta maior flexibilidade, pois o cálculo de eficiência é avaliado pela soma das potências instaladas em cada ambiente do edifício, avaliando separadamente cada um dos ambientes.

Sendo assim, para determinar o nível de eficiência do sistema neste método, identifica-se nas tabelas apresentadas no RTQ-C, a atividade de cada ambiente e suas respectivas densidades de potência limite (DPI_L). A DPI_L é multiplicada pela área iluminada da sala correspondente obtendo a potência limite do ambiente para cada nível. O somatório das potências limites dos ambientes para cada nível de eficiência determinará a potência limite do edifício. A esta potência limite, comparam-se os valores de potência instalados no edifício e determina-se classificação final do sistema.

Ainda, Ramos e Lamberts (2010) destacam que em ambos os métodos, a soma total das potências deve incluir os valores de todo o conjunto luminotécnico (luminária, lâmpada e reator).

O RTQ-C apresenta como opção um aumento em 20% na densidade de potência de iluminação limite (DPI_L) para ambientes com um índice de ambiente (K), determinado pela Equação 2.5 (BRASIL, 2010b), menor que o definido nas tabelas do método das atividades do edifício, ou Room Cavity Ratio (RCR), calculado através Equação 2.6 (BRASIL, 2010b), maior que o definido nas mesmas tabelas.

$$K = \frac{At + Apt}{Ap} \quad (\text{Equação 2.5})$$

Onde,

K : índice de ambiente (adimensional);

At : Área de teto (m^2);

Apt : Área do plano de trabalho (m^2);

Ap : Área de parede entre o plano iluminante e plano de trabalho (m^2);

$$RCR = \frac{2,5 \cdot Hp \cdot P}{A} \quad (\text{Equação 2.6})$$

Onde,

RCR : Room Cavity Ratio (adimensional);

Hp : Altura de parede, considerar altura entre o plano iluminante e o plano de trabalho (m^2);

P : Perímetro do ambiente (m^2);

A : Área do ambiente (m^2).

A opção de verificar o índice K e RCR é válida no caso de estar com DPI acima do limite, e, principalmente, em ambientes pequenos, os quais em muitas

vezes apresentam uma potência maior instalada no ambiente, evitando assim, punir os ambientes pelo seu tamanho (RAMOS e LAMBERTS, 2010).

O controle do sistema de iluminação apresenta critérios a serem respeitados em função de cada nível de eficiência pretendido. O mesmo é verificado através do atendimento aos pré-requisitos específicos da iluminação.

De acordo com o nível de eficiência são os pré-requisitos que devem ser atendidos, conforme Tabela 2.15. Não atendendo a nenhum pré-requisito, o nível máximo a ser alcançado no requisito do sistema de iluminação é o nível D.

Tabela 2.15 – Relação entre os pré-requisitos e o nível de eficiência

| Pré-requisito | NÍVEL | | |
|-----------------------------|-------|-----|-----|
| | A | B | C |
| divisão dos circuitos | Sim | Sim | Sim |
| contribuição da luz natural | Sim | Sim | |
| desligamento automático | Sim | | |

A divisão dos circuitos é verificada em cada ambiente fechado por paredes ou divisórias até o teto. Este deve apresentar no mínimo um dispositivo de controle manual para acionamento independente da iluminação interna, de fácil acesso, em que o usuário consiga controlar todo o sistema de iluminação.

A quantidade de dispositivos de controle deve seguir uma proporção de acordo com a área do ambiente, conforme Tabela 2.16.

Tabela 2.16 – Relação os dispositivos de controle e a área do ambiente

| Ambientes com área | Quantidade de Dispositivo |
|---------------------------------|---------------------------------|
| até 250 m ² | 1 un |
| entre 250 e 1000 m ² | 1 un a cada 250 m ² |
| maior de 1000 m ² | 1 un a cada 1000 m ² |

O controle do sistema que analisa a contribuição da luz natural observa a existência de acionamento independente, manual ou automático, da fileira de

luminárias mais próxima às janelas em ambientes com janela voltada para o ambiente externo e que possuem mais de uma fileira de luminárias paralelas.

O sistema de iluminação interna dos ambientes com área superior a 250m² deverá apresentar dispositivo de controle automático para desligamento da iluminação.

As opções de funcionamento do sistema 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, desconsideram o atendimento a esse pré-requisito.

Se existirem ambientes que não atendam aos pré-requisitos, deve-se corrigir o EqNumDPI através da ponderação entre os níveis de eficiência e a potência instalada dos ambientes.

2.4.3.3 Sistema de Condicionamento de Ar

A determinação da eficiência do sistema de ar condicionado confere a eficiência de cada aparelho, que deve ser conhecida por duas avaliações de eficiência, a primeira pelo INMETRO e à segunda através das tabelas da ASHRAE apresentadas no regulamento. O resultado final são as eficiências dos aparelhos ponderados pelas áreas dos ambientes condicionados pelo mesmo.

O Sistema de condicionamento de ar poderá ser classificado como nível A se os pré-requisitos específicos forem atendidos: proteção das unidades

condensadoras, isolamento térmico para dutos de ar e especificidades quanto ao condicionamento de ar por aquecimento artificial.

As unidades condensadoras, de cada equipamento separadamente, dos sistemas condicionadores de ar, devem estar sombreadas permanentemente e com ventilação adequada para não interferir em sua eficiência.

Os dutos de ar devem apresentar isolamento térmico com espessuras mínimas para isolamento de tubulações para sistemas de aquecimento e refrigeração, respectivamente, propostos em tabelas como parâmetro pelo regulamento.

E, no caso de condicionamento de ar por aquecimento artificial devem atender aos indicadores mínimos de eficiência energética apresentados pelo regulamento de acordo com sistema de aquecimento: bombas de calor, sistemas unitários de condicionamento de ar com ciclo reverso e caldeiras a gás.

3 METODOLOGIA

A pesquisa qualitativa foi elaborada a partir de de um estudo de caso. O trabalho consistiu na aplicação do regulamento referente à Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificação de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos: RTQ-C (BRASIL, 2010b), na fase de projeto da nova edificação.

A coleta de dados, baseado na técnica de observação direta intensiva (MARCONI E LAKATOS, 2001), partiu do levantamento de informações dos projetos e memoriais, voltados principalmente para uso de energia do edifício.

O objeto de estudo deste trabalho foi avaliado e classificado seguindo as seguintes etapas:

- levantamento de dados segundo as orientações determinadas pelo RTQ-C (BRASIL, 2010b);
- obtenção das classificações do nível de eficiência energética parciais e geral da edificação, através da aplicação do RTQ-C (BRASIL, 2010b);
- avaliação da aplicabilidade do regulamento sob a ótica do avaliador;
- análise das variáveis utilizadas na determinação do nível de eficiência do objeto de estudo;
- análise do Regulamento sob a ótica da prática arquitetônica, com o propósito de contribuir para elaboração de projetos mais eficientes.

3.1 Aplicação do RTQ-C (BRASIL, 2010b) para classificação da edificação quanto ao nível de eficiência energética

O método de avaliação utilizado para obtenção da classificação do nível de eficiência energética foi o prescritivo, apresentado pelo RTQ-C (BRASIL, 2010b), aplicado à fase de projeto do edifício.

A classificação geral e parcial foi elaborada em três etapas. Inicialmente foram coletados os dados necessários de cada requisito e da edificação como um todo e, em seguida, codificados para serem trabalhados com as especificações do

regulamento. No segundo momento, foi feita a verificação de atendimento aos pré-requisitos de cada sistema individual e da classificação geral. Por fim, o nível de eficiência energética geral e de cada grupo foi obtido através dos cálculos, conforme as equações e as tabelas apresentadas no regulamento, bem como lançamento dos dados obtidos na primeira etapa.

Em cada requisito, obteve-se uma classificação parcial atribuída por um equivalente numérico. Através deste valor, obteve-se a classificação dos níveis de eficiência que variam de A (mais eficiente) a E (menos eficiente) em cada requisito.

A classificação geral do edifício foi obtida através da avaliação das classificações por requisitos e lançada na equação 2.1, resultando numa classificação final, a qual varia da mesma forma que as parciais.

3.1.1 Envoltória

3.1.1.1 Determinação do indicador de consumo da envoltória (ICenv)

A localização do objeto de estudo deste trabalho, em Doutor Maurício Cardoso – RS, o insere na zona bioclimática 2 (ZB2), conforme classificação da NBR 15220-3 (ABNT, 2005c). A edificação apresenta área de projeção (Ape) superior a 500 m². Esse dado, juntamente com a classificação da zona bioclimática, determinam a utilização da equação 2.3 para o cálculo do indicador de consumo da envoltória (ICenv), segundo especificações do RTQ-C.

3.1.1.2 Variáveis utilizadas para determinação do nível de eficiência da envoltória

As Informações sobre as dimensões, altura, áreas, volume e ângulos de sombreamento da edificação foram obtidas no projeto arquitetônico da edificação.

A orientação solar das fachadas dos edifícios foi obtida nos projetos de implantação e situação e foram conferidas por meio do Google Earth. As fachadas

foram especificadas conforme os quadrantes definidos pelo RTQ-C. Em específico, o caso em que o plano da fachada está perpendicular, exatamente no ângulo de 135° , considerou-se como fachada leste.

O percentual de área de abertura na fachada total (PAFt) foi calculado pela razão entre a soma das áreas de aberturas envidraçadas, sem descontar os caixilhos, tanto dos fechamentos transparentes, como dos translúcidos, de cada fachada, e a área total de fachada da edificação, incluindo o plano de parede dos oitões da cobertura.

O fator solar dos vidros das fachadas foi consultado na bibliografia, já que no projeto e memorial não é especificada a marca e o fator solar dos vidros, apenas a coloração dos mesmos e espessura.

O sombreamento das aberturas foi verificado através dos elementos de proteção solar horizontais e verticais. O ângulo final utilizado foi o resultado da média ponderada dos ângulos de sombreamento em função da área de abertura sombreada.

3.1.1.3 Determinação do nível de eficiência da envoltória

A identificação do nível de eficiência da envoltória do projeto foi obtido a partir da comparação do ICenv obtido na equação 2.3 com os limites definidos pelos intervalos do ICmáxD e o ICmín.

O ICmáxD e o ICmín foi calculado utilizando-se a mesma equação do cálculo do indicador de consumo da envoltória (Equação 2.3), mas com os parâmetros de entrada fornecidos pelo RTQ-C, para cada limite.

Os limites ICmáxD e ICmín representam o intervalo dentro do qual a edificação deve se inserir. Os níveis de classificação foram determinados por intervalos calculados através da Equação 2.4, apresentada pelo RTQ-C.

3.1.1.4 Atendimento aos pré-requisitos específicos da envoltória

Para classificação final do nível de eficiência da envoltória, deve ser verificado o atendimento aos pré-requisitos específicos: transmitâncias térmicas, cor e absorvância a radiação solar de superfícies e iluminação zenital.

- Transmitâncias térmicas

A transmitância térmica das paredes externas foi obtida no Anexo D da NBR 15220 – Parte 3 (ABNT, 2005c), a qual indica as propriedades térmicas de algumas paredes e coberturas. Os valores que não constam neste anexo foram calculados de acordo com a NBR 15220 - Parte 2 (ABNT, 2005b). Os coeficientes de condutividade dos materiais, que compunham as paredes externas, necessários para o cálculo, foram retirados do anexo B, da referida parte da norma. Em específico, o coeficiente de condutividade utilizado para o cálculo da parede de pedra foi retirado do grupo da rocha metamórfica (mesmo grupo da ardósia e do xisto). As espessuras de cada camada foram verificadas nas especificações do projeto arquitetônico.

Os dados foram representados graficamente sobre as fachadas do levantamento físico da edificação e tabelados em planilhas.

O valor da transmitância térmica da cobertura foi calculado segundo a NBR 15220 - Parte 2 (ABNT, 2005b). Os coeficientes de condutividade e emissividade da cobertura, necessários para o cálculo, foram retirados do anexo B da referida parte da norma.

Os dados da cobertura foram verificados nas especificações do projeto arquitetônico. A espessura do forro foi retirada em catálogos do material, já que a mesma não foi especificada.

Para verificação de atendimento ao pré-requisito, foi considerada a pior situação de transmitância térmica cobertura (U_{cob}), ou seja, o resultado obtido em cada estação (inverno/verão) com maior transmitância térmica.

- Cor e absorvância solar das paredes externas e cobertura

A cor e absorvância a radiação solar das paredes e coberturas foram verificadas através do coeficiente de absorção (α) das cores e materiais de revestimento externo da superfície. Os dados das superfícies foram verificados no memorial descritivo do projeto arquitetônico, entretanto as cores não foram especificadas no documento, desta maneira foram constatadas a partir da maquete eletrônica da edificação. Já os coeficientes foram verificados na NBR 15220 - Parte 2 (ABNT, 2005b).

3.1.2 Sistema de Iluminação

A classificação do sistema de iluminação considera os critérios de controle do sistema e o limite de potência instalada.

3.1.2.1 Determinação do nível de eficiência do sistema de iluminação

O Nível de Eficiência do Sistema de Iluminação foi avaliado através do cálculo da Densidade de Potência de Iluminação Limite. O método utilizado para este cálculo foi o método da área do edifício proposto pelo RTQ-C (BRASIL, 2010b).

A potência de iluminação total instalada no edifício foi verificada no quadro de cargas do projeto elétrico.

3.1.2.2 Atendimento aos pré-requisitos específicos da iluminação

O sistema de iluminação, para ser classificado, deve atender aos pré-requisitos referentes a critérios de controle de iluminação, como divisão dos

circuitos, contribuição da luz natural e desligamento automático do sistema de iluminação.

- Divisão dos circuitos

Os dispositivos de controle foram quantificados conforme especificação do projeto elétrico. Os interruptores duplos ou triplos foram quantificados como dois e três dispositivos de controle, respectivamente.

- Contribuição da luz natural

A contribuição da luz natural foi verificada no projeto elétrico quanto à existência de acionamento da fileira de luminárias mais próxima às janelas. No caso dos ambientes com aberturas em mais de duas paredes, foram considerados somente os circuitos paralelos às paredes de maior extensão. Não há clareza no RTQ-C quanto a esta situação, sendo assim considerou-se desnecessário um terceiro circuito independente.

3.1.3 Sistema de Condicionamento de Ar

O projeto da edificação não prevê aparelhos condicionadores de ar. O sistema de ar condicionado será considerado na elaboração dos cenários de análise para verificar o quanto esta variável interfere no nível geral de classificação da eficiência energética.

3.1.4 Classificação geral do nível de eficiência da edificação

A determinação do nível de eficiência energética geral da edificação é determinada pela equação 2.1 apresentada no RTQ-C, onde os pontos específicos

para cada um dos três requisitos parciais foram lançados: Envoltória, Sistema de Iluminação e Sistema de Condicionamento de Ar.

Embora a edificação não apresente ambientes condicionados, o requisito sistema de condicionamento foi considerado com a pontuação mínima, para não inviabilizar a análise do nível de eficiência energética geral.

O RTQ-C apresenta somente o método da simulação para classificação geral para edifícios naturalmente condicionados. Entretanto neste trabalho, não foi realizada a simulação, sendo assim para o equivalente numérico da ventilação - EqNumV foi adotado o mínimo, nível E.

3.1.4.2 Pré-requisitos gerais

O requisito em que o edifício deve apresentar circuito elétrico com possibilidade de medição centralizada por uso final, como iluminação e sistema de condicionador de ar, não foi considerado. O edifício não apresenta medição por uso final, no caso de considerá-lo, limitaria a análise das variáveis, que contribuem para o nível de eficiência energética.

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.

3.1.4.3 Pré-requisitos específicos

A verificação de atendimento aos pré-requisitos específicos dos itens Envoltória e Sistema de Iluminação foi considerada, pois determina o nível de classificação parcial dos respectivos itens. Os pré-requisitos do sistema de Condicionamento de Ar não foram considerados, em virtude da inexistência do sistema.

3.2 Avaliação da aplicabilidade do regulamento sob a ótica do avaliador

A aplicabilidade do Regulamento sob o ponto de vista do avaliador foi analisada qualitativamente, considerando:

- a obtenção dos dados requeridos pela normativa para a classificação parcial e geral da edificação;
- os conhecimentos necessários à aplicação da metodologia;
- a relação da geometria do edifício, simplificando a etapa de levantamento de dados.

3.3 Análise das variáveis utilizadas na determinação do nível de eficiência do objeto de estudo

A análise das variáveis utilizadas na determinação do nível de eficiência energética do objeto de estudo foi realizada através da elaboração de cenários. Os dados das variáveis foram alterados no intuito de melhorar o nível de eficiência energética da edificação, utilizando a metodologia do regulamento. Os cenários foram criados tanto para analisar as variáveis relativas aos pré-requisitos, como as referentes ao cálculo do equivalente numérico. Neste momento, o sistema de ar condicionado também foi analisado.

3.4 Análise do Regulamento sob a ótica da prática arquitetônica

A análise do regulamento sob a ótica da prática arquitetônica verificou o uso do regulamento como ferramenta de auxílio à etapa de concepção de projeto, considerando as variáveis que influenciam significativamente no resultado final da eficiência energética da edificação, a partir da criação dos cenários aplicados ao objeto de estudo.

4 OBJETO DE ESTUDO

O projeto escolhido para a aplicação dos Requisitos Técnicos da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, refere-se a uma edificação de caráter público a ser implantada no município de Doutor Maurício Cardoso – RS.

A edificação abrigará um centro de convivência para idosos do município, em um projeto que contempla um programa de necessidades dividido em três setores, a saber: recreacional, esportivo e assistencial para atendimento ao adulto maior.

4.1 Caracterização do município e da área de estudo

Antes de emancipar-se, em 1987, o município de Doutor Maurício Cardoso pertencia inicialmente à Santa Rosa e, por último, à Horizontina. Localizado a 515km de distância da Capital, seu acesso rodoviário acontece pela RS 305, sendo a avenida central que percorre a cidade (DOUTOR MAURÍCIO CARDOSO, 2008).

Integra a Microregião Noroeste Riograndense, constituindo a fronteira do Rio Grande do Sul com Argentina. Apresenta-se em uma área de 256,3 km². Seus limites são Crissiumal, Horizontina, Tucunduva e Novo Machado, além da divisa com a República Argentina à Noroeste, em área rural.

O município de Doutor Maurício Cardoso, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (BRASIL, 2004) figura 4.1, localiza-se sob as coordenadas 54,36° de longitude Oeste e 27,5 ° de latitude Sul, a uma altitude média de 282m acima do nível do mar.

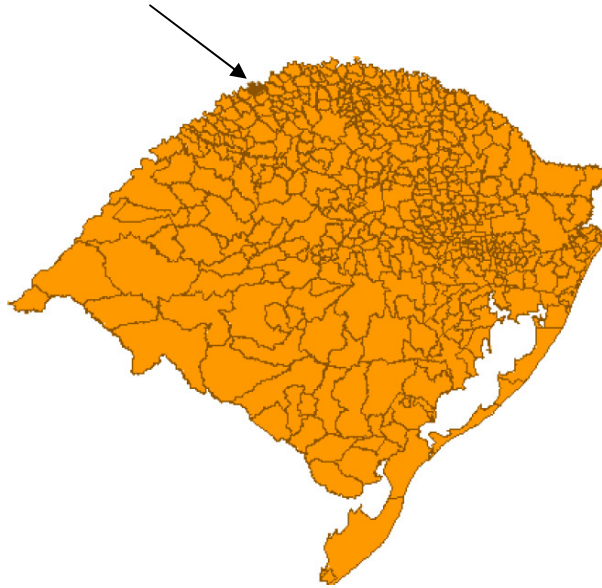


Figura 4.1 – Divisão Territorial do Rio Grande do Sul
Localização do Município de Dr. Maurício Cardoso
Fonte: FEE, 2004.

A classificação do relevo no Brasil, apresentada pelo IBGE, localiza o município na Região do Planalto das Araucárias. Apresenta uma topografia de coxilha e vegetação formada por campos.

O município, com população de 5.424 habitantes (BRASIL, 2004), apresenta clima temperado (subtropical) mesotérmico brando, super úmido, sem seca, com temperaturas médias entre 10° e 15 °C, segundo a classificação do IBGE.

A divisão climática do estado do Rio Grande do Sul em 8 regiões (Figura 4.2), apresentada por Peixoto Machado (TURIK, 1988), serviu como base para obtenção dos dados da região do município em estudo: Alto Vale do Uruguai. É uma região de zona mais quente e úmida, onde a temperatura média é de 19,1 °C, com mínimas 12,6°C e máximas de 26,1°C. A umidade média anual é de 87% e a insolação sobre máximas horas possíveis é de 50%. Caracteriza-se por ter chuvas abundantes e ventos fracos, com velocidade média de 1m/s nas direções sudeste e nordeste (TURIK, 1988),

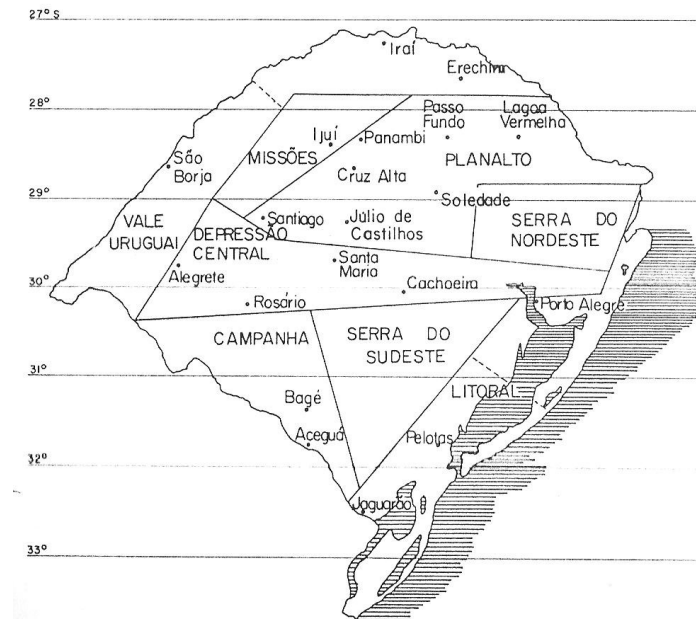


Figura 4.2 – Regiões Climáticas do Rio Grande do Sul
Fonte: (TURIK, 1988).

4.1.2 Descrição e caracterização do projeto da edificação

O projeto, elaborado pelo arquiteto João da Jornada Fortes Filho, será implantado em região Central da cidade, próximo a pontos importantes como a Prefeitura, a Praça Central Affonso Rohde e a Escola Estadual (Figura 4.3). Localizado na Rua Daltro Filho, no quarteirão formado pela Rua do Comércio, Rua Uruguai e Rua José Bonifácio, a menos de duas quadras da Avenida Central (RS 305).

A implantação da edificação acompanhará o formato em “L” do terreno (Figura 4.4), onde as fachadas de maior extensão, frontal e de fundos, apresentam-se na direção Norte e Sul.



Figura 4.3 – Centro Doutor Maurício Cardoso - Localização do Terreno
 Fonte: (Adaptado Google Earth, 2010).

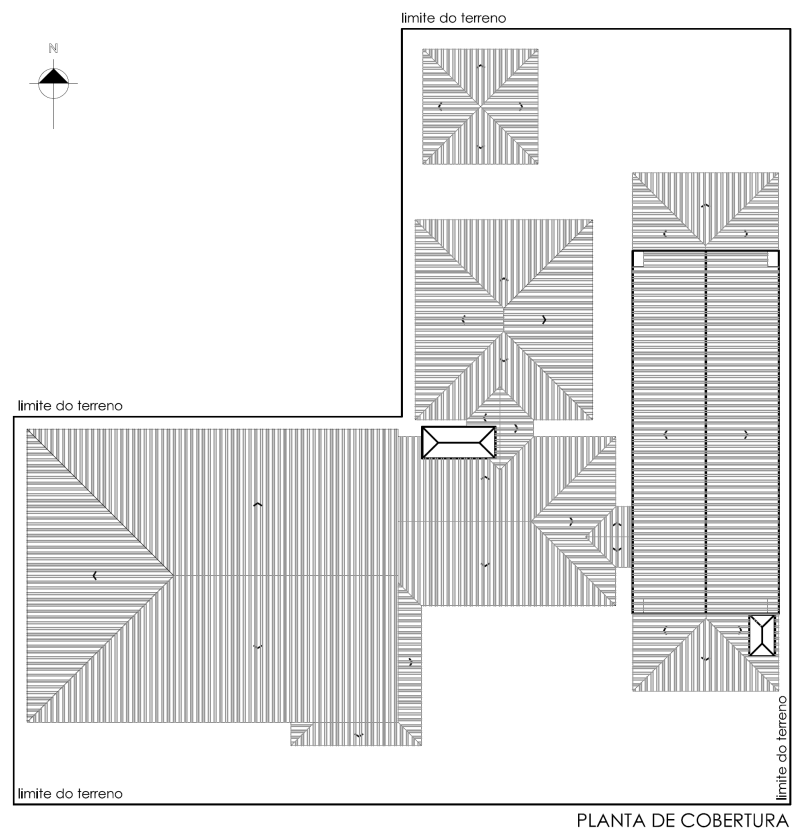


Figura 4.4 – Planta de Cobertura

A proposta da edificação compreende três volumes conectados por circulações cobertas e fechadas (Figura 4.5). A edificação é permeável e, através de aberturas em todas as faces da envoltória, permite uma boa ventilação e iluminação dos espaços internos.



Figura 4.5 – Maquete Eletrônica: Perspectivas Sudeste e Noroeste

O projeto da edificação apresenta uma área total de 971,19 m² distribuída em apenas um pavimento. Reúne ambientes de apoio, de recreação, de esportes e de assistência ao idoso Figura 4.6. A área do quiosque não será avaliada em função de estar situada fora do corpo do edifício. Sendo assim, a área total a ser avaliada será de 935,19 m².

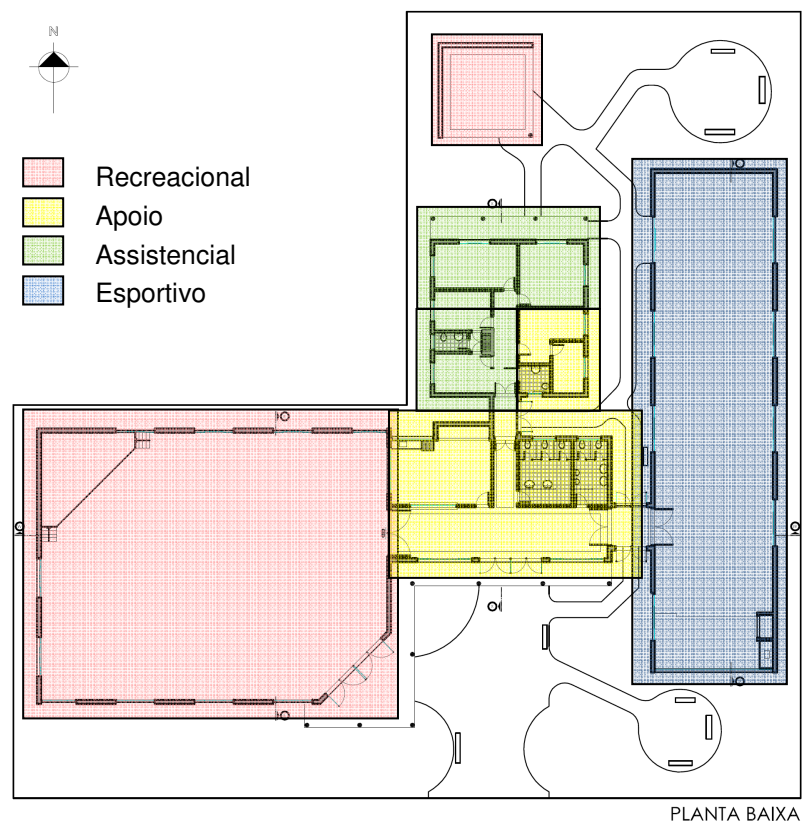


Figura 4.6 – Planta Baixa

O setor recreacional compreende a sala de múltiplas atividades culturais e o quiosque. O setor de apoio abrange os ambientes como hall, copa, cozinha, sanitários e salas administrativas. Os consultórios e oficinas resultam no setor assistencial. E, por último, o setor esportivo, o qual é formado pela sala de atividades físicas.

O sistema de cobertura da edificação é formado por telhado com inclinação de 50% e beiral de 80cm e forro (Figura 4.7). Embora sem ventilação natural ou artificial, a inclinação confere uma altura expressiva da cumeeira, gerando uma grande camada de ar entre o telhado e o forro. De acordo com o memorial, o material da cobertura é em telha de fibrocimento em espessura de 6mm, apoiada em estrutura metálica. O forro plano é em placas de PVC branco.

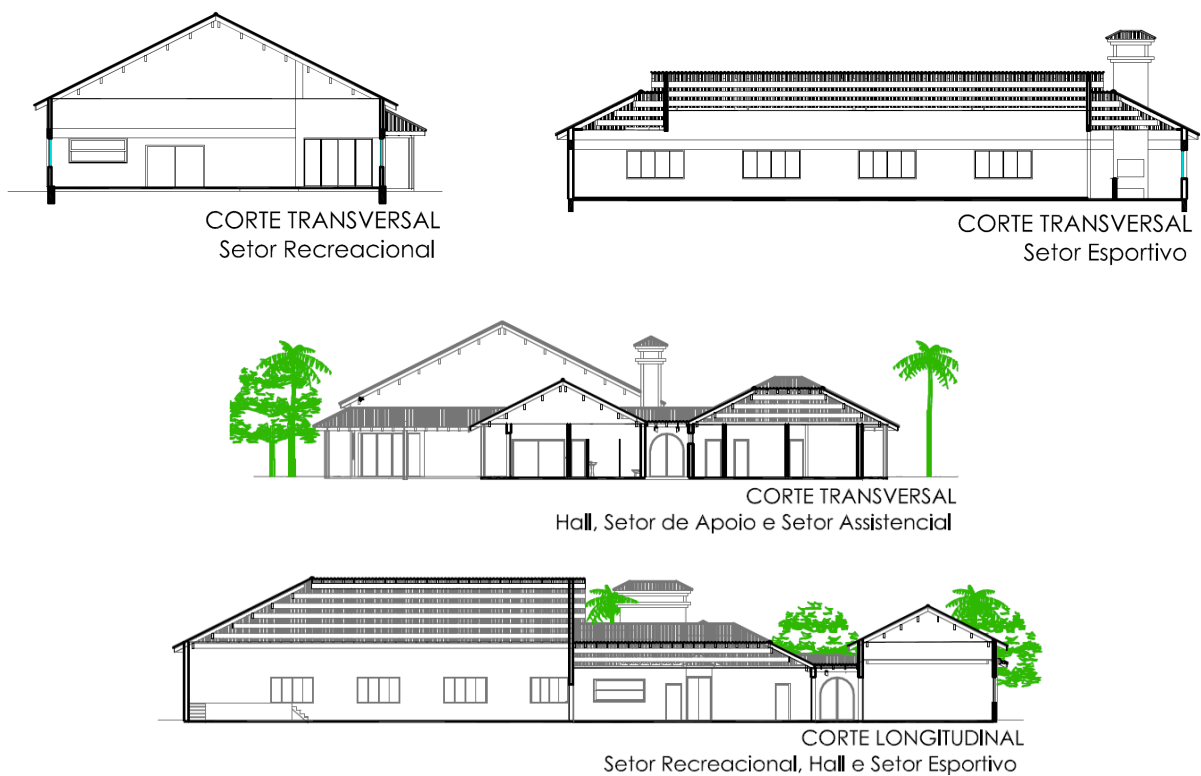


Figura 4.7 – Cortes

O projeto propõe uma edificação com espaços avarandados e tem, em sua especificação, as paredes externas em tijolos maciços com espessura de 27 cm, assentados com junta de 10 a 15 mm. As paredes externas receberão chapisco, emboço, reboco e pintura com tinta PVA em grande parte de sua extensão. As cores utilizadas, percebidas na maquete eletrônica (Figuras 4.5 e 4.9), são verde para as

paredes externas e marrom avermelhado para o telhado. Na parte superior e inferior de algumas janelas são previstos detalhes revestidos em pedra, que podem ser conferidos nas fachadas, apresentadas na Figura 4.8.



Figura 4.8 – Fachadas

Para ventilação natural são previstas esquadrias em ferro pintadas com tinta esmalte na cor marrom. As janelas apresentam-se em diferentes tipos: maxi-ar, basculante e de correr. As portas de acesso localizadas nas fachadas sul, leste e norte são protegidas pelo prolongamento dos beirais do telhado que formam áreas avarandadas. Os vidros nos ambientes de permanência prolongada são previstos na cor fumê com espessura 4mm, enquanto nos ambientes de permanência transitória, como sanitários e cozinha são do tipo pontilhados na cor fumê. A Figura 4.9 ilustra a caracterização.

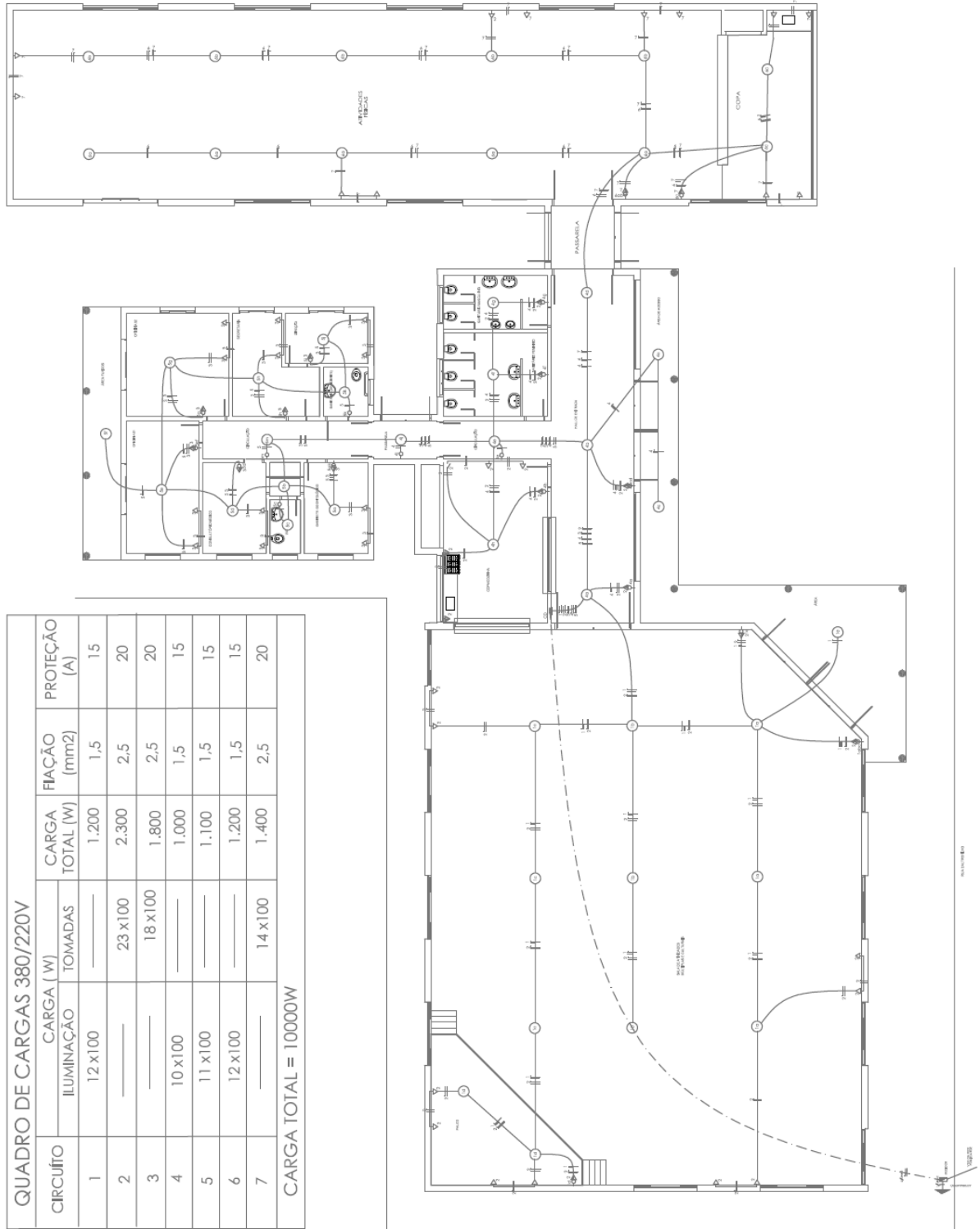


Figura 4.9 – Maquete Eletrônica: Perspectiva Sudoeste e Acesso

O projeto elétrico do edifício é dividido em sete circuitos, sendo quatro destes circuitos destinados ao sistema de iluminação, conforme se verifica na Figura 4.10. De acordo com o quadro de cargas, a potência prevista para a iluminação é de 4500W.

As salas maiores do conjunto, acima de 200 m², apresentam sistema de iluminação dividido em mais de uma fileira de luminárias, cada uma com seu respectivo controle manual, localizado próximo a porta de acesso de cada sala.

Na verificação do Projeto Elétrico, percebe-se a inexistência de previsão para condicionadores de ar, sendo assim, presume-se que o condicionamento inicial será totalmente natural em todos os ambientes.



QUADRO DE CARGAS 380/220V

| CIRCUITO | CARGA (W) | | CARGA TOTAL (W) | FIAÇÃO (mm ²) | PROTEÇÃO (A) |
|-----------------------------|------------|----------|-----------------|---------------------------|--------------|
| | ILUMINAÇÃO | TOMADAS | | | |
| 1 | 12 x 100 | — | 1.200 | 1,5 | 15 |
| 2 | — | 23 x 100 | 2.300 | 2,5 | 20 |
| 3 | — | 18 x 100 | 1.800 | 2,5 | 20 |
| 4 | 10 x 100 | — | 1.000 | 1,5 | 15 |
| 5 | 11 x 100 | — | 1.100 | 1,5 | 15 |
| 6 | 12 x 100 | — | 1.200 | 1,5 | 15 |
| 7 | — | 14 x 100 | 1.400 | 2,5 | 20 |
| CARGA TOTAL = 10000W | | | | | |

Figura 4.10 – Planta Baixa: Projeto Elétrico

5 RESULTADOS

5.1 Classificação parcial do requisito Envolvória

5.1.1 Nível de eficiência da Envolvória

O indicador de consumo da envoltória (ICenv) foi calculado conforme a equação 2.3, aplicada a ZB2, com $A_{pe} > 500 \text{ m}^2$. O valor do fator de forma (FF) utilizado na equação do ICenv foi o calculado, pois apresenta-se maior que o mínimo exigido pela equação. A tabela 5.1 apresenta os principais valores das variáveis do edifício para o Cálculo do ICenv.

Tabela 5.1 – Resultado do ICenv

| VARIÁVEL | VALOR | UNIDADE |
|--|---------|----------------|
| Ape - área de proj. do edifício | 935,19 | m ² |
| Aenv - área da envoltória | 2061,05 | m ² |
| Vtot - volume total da edificação | 4873,20 | m ³ |
| AVS - Ângulo Vertical de Sombreamento | 27,797 | graus |
| AHS - Ângulo Horizontal de Sombreamento | 45,00 | graus |
| FA - Fator de Altura | 1,08 | - |
| FF - Fator de Forma | 0,42 | - |
| PAFt – Percentual de abertura de fachada total | 0,15 | - |
| FS - Fator Solar | 0,60 | - |
| Atot - área total de piso fechada de construção | 867,31 | m ² |
| Apcob - área de projeção da cobertura | 935,19 | m ² |
| ICenv | 139,07 | |

O Fator Solar dos vidros das fachadas, utilizado na equação, é de 60%, de acordo com Lamberts et al (2004) para vidro fumê. A especificação fumê consta no memorial descritivo para todos os vidros da edificação

Os ângulos horizontais de sombreamento foram verificados em algumas aberturas proporcionados pelo sombreamento da própria edificação. A Figura 5.1

apresenta os ângulos encontrados para cada abertura. O AHS calculado a partir da média ponderada do ângulo de sombreamento e a área de cada abertura está demonstrado na tabela 5.2. O valor encontrado de 74,9° ultrapassa o valor máximo proposto pelo RTQ-C, logo o valor final utilizado para AHS foi 45°.

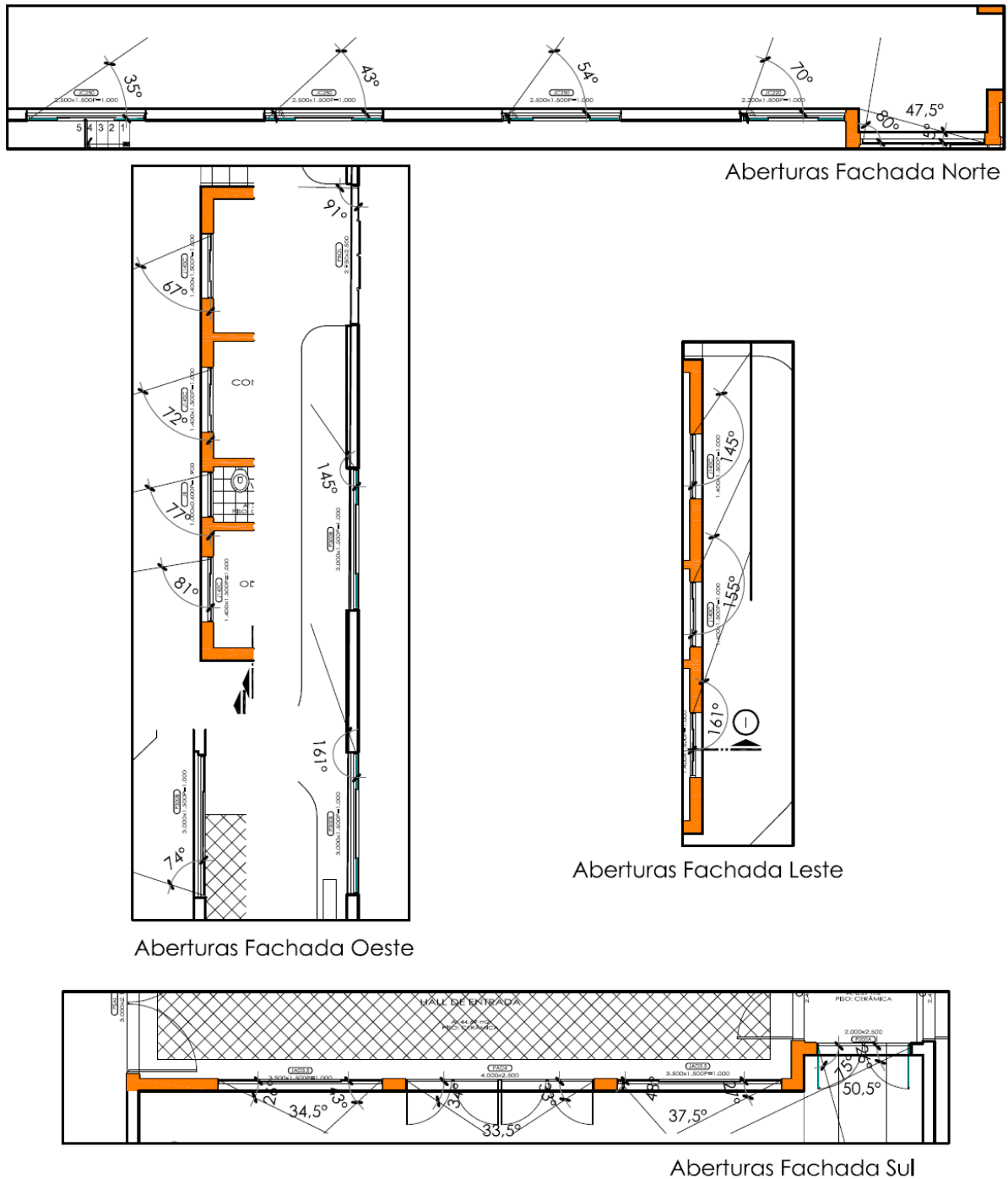


Figura 5.1 – Ângulos Horizontais de sombreamento das aberturas (AHS)

Tabela 5.2 – Ponderação do AHS pela área total de aberturas

| ÁREA DE ABERTURA (m ²) | AHS | % ABERTURA | AHS PONDERADO |
|------------------------------------|------|------------|---------------|
| 3,75 | 35 | 4,98 | 1,74 |
| 3,75 | 43 | 4,98 | 2,14 |
| 3,75 | 54 | 4,98 | 2,69 |
| 3,75 | 70 | 4,98 | 3,49 |
| 4,37 | 80 | 5,81 | 4,65 |
| 2,10 | 81 | 2,79 | 2,26 |
| 0,60 | 77 | 0,80 | 0,61 |
| 2,10 | 72 | 2,79 | 2,01 |
| 2,10 | 67 | 2,79 | 1,87 |
| 4,50 | 161 | 5,98 | 9,63 |
| 4,50 | 145 | 5,98 | 8,67 |
| 4,42 | 91 | 5,87 | 5,35 |
| 2,10 | 145 | 2,79 | 4,05 |
| 2,10 | 155 | 2,79 | 4,33 |
| 2,10 | 161 | 2,79 | 4,49 |
| 4,50 | 34,5 | 5,98 | 2,06 |
| 10,00 | 33,5 | 13,29 | 4,45 |
| 5,25 | 37,5 | 6,98 | 2,62 |
| 5,00 | 50,5 | 6,65 | 3,36 |
| 4,50 | 74 | 5,98 | 4,43 |
| 75,24 | | | 74,90 |

Os ângulos verticais de sombreamento foram considerados em todas as aberturas em função da edificação possuir beiral em toda sua extensão e, ainda, possuir algumas esquadrias protegidas por varandas. A Figura 5.2 apresenta os ângulos encontrados para cada abertura. O AVS final utilizado foi de 27,80, conforme o cálculo da média ponderada do ângulo de sombreamento e a área de cada abertura, demonstrado na tabela 5.3.

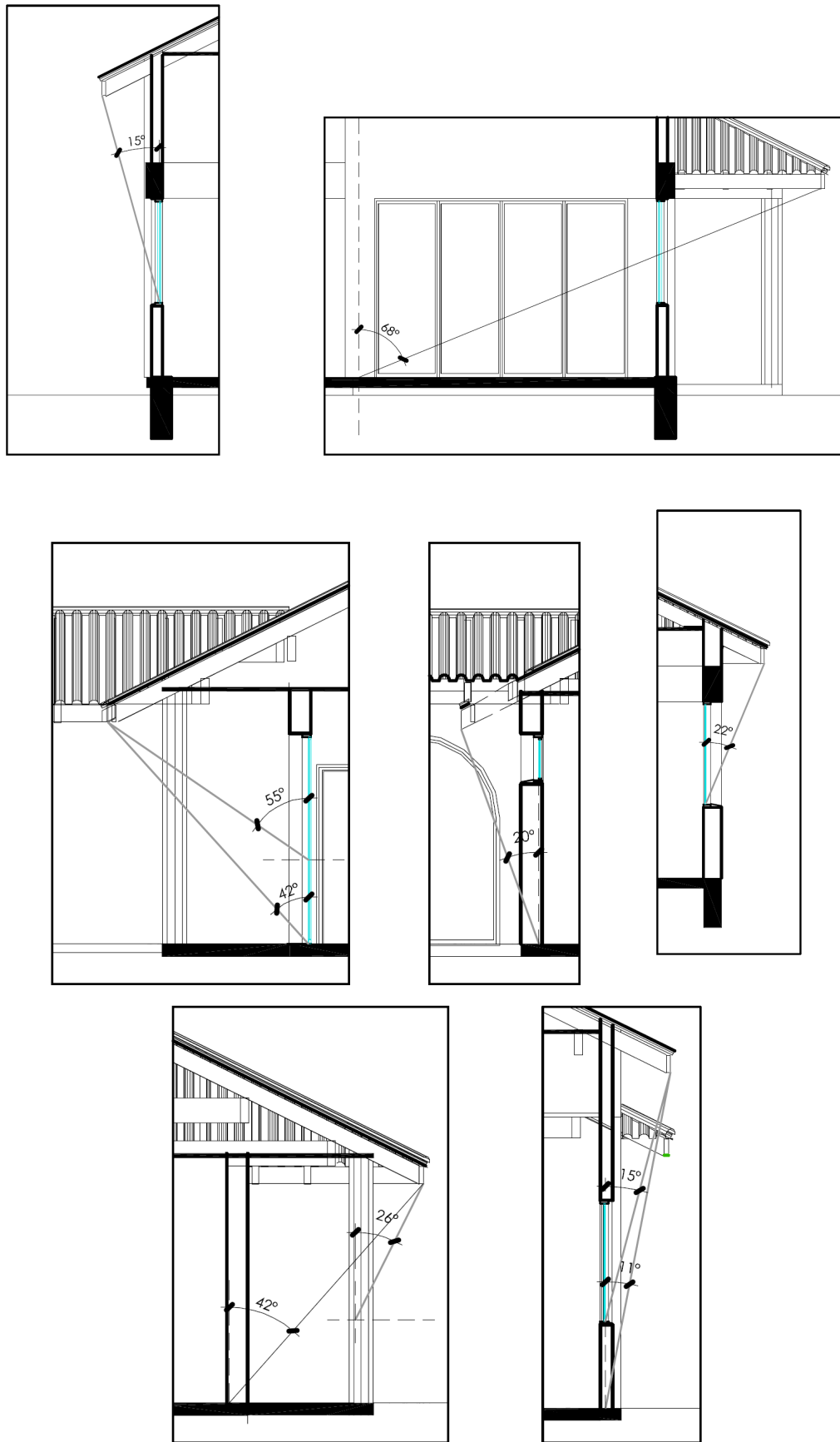


Figura 5.2 – Ângulos Verticais de sombreamento das aberturas (AVS)

Tabela 5.3 – Ponderação do AVS pela área total de aberturas

| | ÁREA ABERTURA (m ²) | AVS | % ABERTURA | AVS PONDERADO |
|---------------|---------------------------------------|-----|---------------|------------------|
| | 30,00 | 15 | 20,29 | 3,04 |
| | 6,60 | 15 | 4,46 | 0,67 |
| | 12,50 | 68 | 8,46 | 5,75 |
| | 10,50 | 55 | 7,10 | 3,91 |
| | 10,00 | 42 | 6,76 | 2,84 |
| | 10,00 | 20 | 6,76 | 1,35 |
| | 22,50 | 15 | 15,22 | 2,28 |
| | 11,25 | 22 | 7,61 | 1,67 |
| | 4,50 | 22 | 3,04 | 0,67 |
| | 7,38 | 11 | 4,99 | 0,55 |
| | 12,60 | 26 | 8,52 | 2,22 |
| | 10,00 | 42 | 6,76 | 2,84 |
| TOTAIS | 147,83 | | | 27,80 |

O percentual de área de abertura na fachada (PAF) utilizado foi o total de 0,152, pois o percentual de área de abertura na fachada oeste resultou em um valor inferior ao percentual de área de abertura na fachada total (PAFt), conforme tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Percentual de área de abertura na fachada total (PAFt)

| | FACHADA LESTE | FACHADA OESTE | FACHADA NORTE | FACHADA SUL | EDIFÍCIO TOTAL |
|------------------------------------|------------------|------------------|------------------|----------------|-------------------|
| Vidro (m ²) | 41,80 | 31,08 | 35,36 | 51,30 | 159,54 |
| Plano de fachada (m ²) | 247,59 | 227,71 | 200,1 | 182,01 | 1050,45 |
| PAF (%) | 16,88 | 13,60 | 17,67 | 28,18 | 15,20 |

O ICenv máximo encontrado foi de 162,78 que corresponde ao nível de eficiência mínimo. Conforme o cálculo do RTQ-C, o ICenv mínimo resultou em 142,76, corresponde ao melhor nível de eficiência, porém não existe nível mínimo de eficiência, pois quanto mais baixo o valor do indicador obtido, mais eficiente será a envoltória da edificação. Os níveis de eficiência da envoltória limites para cada eficiência são apresentados na tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Indicadores de consumo limites para cada nível e eficiência

| EFICIÊNCIA | A | B | C | D | E |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| LIM MÍN | | 142,77 | 149,44 | 156,11 | 162,78 |
| LIM MÁX | 142,76 | 149,43 | 156,10 | 162,77 | |

A comparação do valor final do IC_{env} de 139,07, obtido na equação 2.3, com os valores da tabela 5.5 indica o nível de classificação A para a eficiência energética da envoltória. Este nível corresponde ao valor 5 para o Equivalente Numérico da Envoltória (EqNumEnv).

5.1.2 Atendimento aos pré-requisitos

A edificação atendeu, em parte, os pré-requisitos, o que reduziu o nível de eficiência energética da envoltória do nível A para o nível E. A síntese dos resultados é apresentada na tabela 5.6 para U (transmitância térmica) e para α (coeficiente de absorção da superfície). Não foi necessária a verificação ao atendimento dos pré-requisitos para iluminação zenital, pois a mesma não está presente no projeto.

Tabela 5.6 – Comparação entre os limites para cada nível e eficiência e os resultados finais para os pré-requisitos da envoltória

| PRÉ-REQUISITOS | RESULTADO FINAL | LIMITES DOS NÍVEIS ESTABELECIDOS PELO RTQ-C (BRASIL,2010b) | | | | |
|----------------------------------|-----------------|--|----------------|---------|---------|---------|
| | | NÍVEL A | NÍVEL B | NÍVEL C | NÍVEL D | NÍVEL E |
| U paredes (W/m ² K) | 2,49 | U ≤ 1,0 | U ≤ 2,0 | U ≤ 3,7 | U ≤ 3,7 | - |
| U cobertura (W/m ² K) | 2,82 | U ≤ 1,0 | U ≤ 1,5 | U ≤ 2,0 | U ≤ 2,0 | - |
| α paredes | 0,32 | $\alpha < 0,5$ | - | - | - | - |
| α cobertura | 0,74 | $\alpha < 0,5$ | $\alpha < 0,5$ | - | - | - |

5.1.2.1 Transmitância térmica das paredes externas

As paredes externas da edificação são compostas de três tipos de materiais, o que resultou em diferentes transmitâncias térmicas, conforme Figura 5.3.

O valor total da transmitância U ponderado pelas áreas de parede de cada material resultou em 2,49 W/m²K. A tabela 5.7 apresenta os valores de cada composição de fechamento para transmitâncias térmicas e suas respectivas áreas.

Tabela 5.7 – Transmitâncias térmicas de cada composição das paredes externas

| FECHAMENTO EXTERNO | ESPESSURA TOTAL (cm) | ÁREA (m ²) | U (W/m ² K) | % |
|---|----------------------|------------------------|------------------------|-------|
| parede de tijolo maciço rebocado dos dois lados | 27 | 281,11 | 2,25 | 66,87 |
| viga de concreto | 27 | 80,94 | 2,70 | 19,25 |
| parede de tijolo maciço revestida com pedra | 17 | 58,33 | 3,33 | 13,88 |
| Total | | 420,38 | 2,49 | |

O resultado da transmitância térmica das paredes externa atende ao pré-requisito, permitindo a classificação até o nível C, pois o limite estabelecido pelo RTQ-C (BRASIL, 2010b) para este pré-requisito é de 3,7 W/m²K.

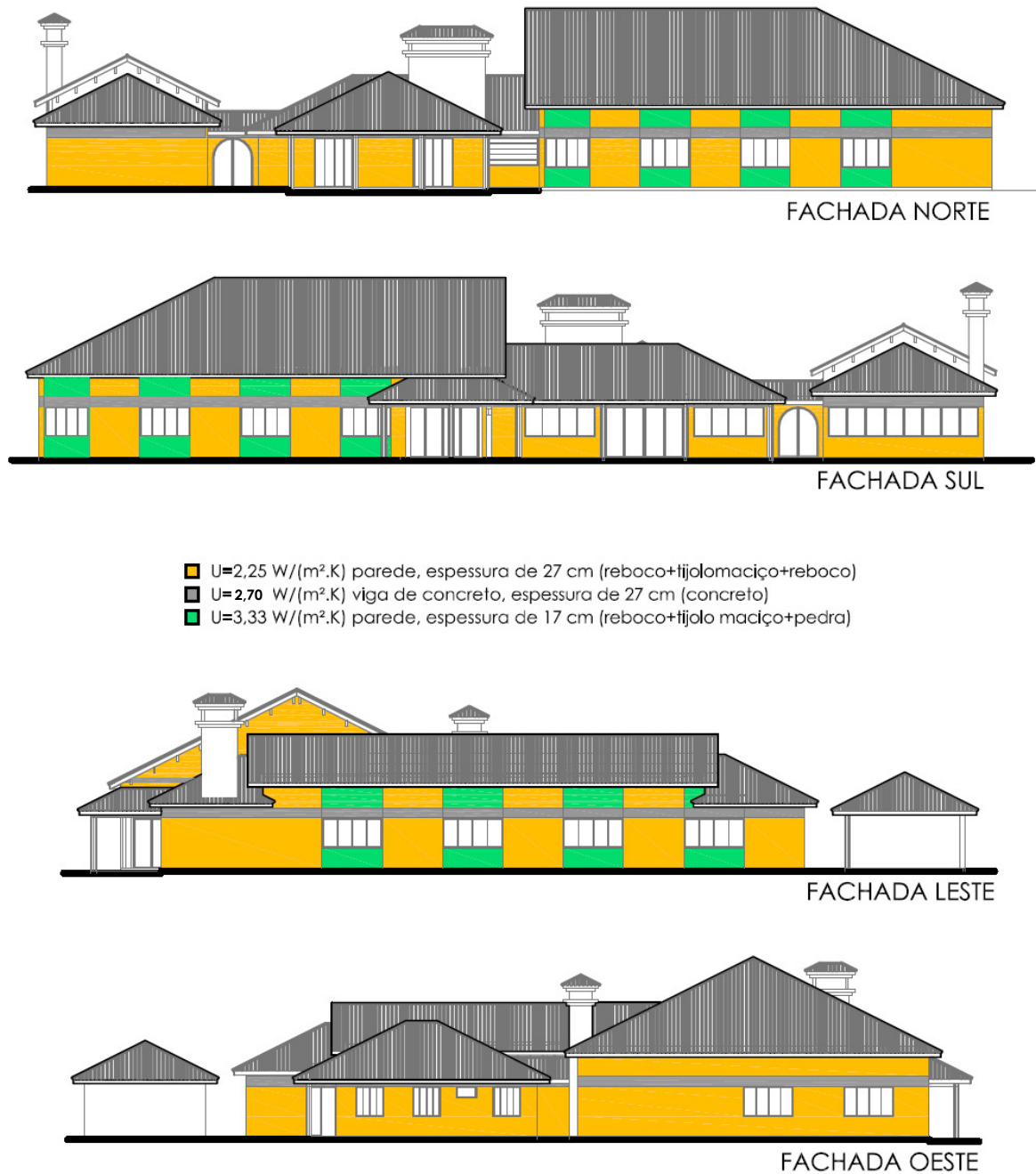


Figura 5.3 – Características construtivas das paredes externas

5.1.2.2 Transmitância térmica da cobertura

O sistema de cobertura da edificação é composto por telhas de fibrocimento com espessura de 6 mm inclinadas e forro de PVC com espessura de 1mm. A

câmara de ar apresenta-se não ventilada, determinando o cálculo da transmitância térmica.

A NBR 15220-2(ABNT, 2005b) faz diferenciação para o cálculo da transmitância térmica no verão e no inverno. A $U(\text{cob})$ resultante do sistema de cobertura para o verão resultou em $2,02 \text{ W/m}^2\text{K}$ e para a situação de inverno $2,82 \text{ W/m}^2\text{K}$. Este resultado atende ao pré-requisito em ambas estações para a $U(\text{Cob})$ somente para o Nível E de eficiência energética, já que o limite, para o nível D, definido pelo RTQ-C (BRASIL, 2010b) é de $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ para ambientes não condicionados na ZB-2.

5.1.2.3 Cor e absorvância solar das paredes externas

A tabela 5.8 apresenta os coeficientes de absorção e suas respectivas áreas para as superfícies das paredes externas, de acordo com tipo de material e coloração das mesmas (figura 5.4). O valor final do coeficiente de absorção (α), resultante da ponderação das respectivas áreas da superfície dos materiais empregados, é de 0,32, atendendo ao pré-requisito do nível A.

Tabela 5.8 – Coeficientes de absorção dos materiais da superfície externa das paredes

| ACABAMENTO DA SUPERFÍCIE | COR | ÁREA(m ²) | α | % |
|------------------------------|-------------|-----------------------|-------------|-------|
| tinta pvc fosca sobre reboco | verde medio | 80,94 | 0,4 | 19,25 |
| tinta pvc fosca sobre reboco | bege | 281,11 | 0,3 | 66,87 |
| pedra | clara | 58,33 | 0,3 | 13,88 |
| | | 420,38 | 0,32 | |

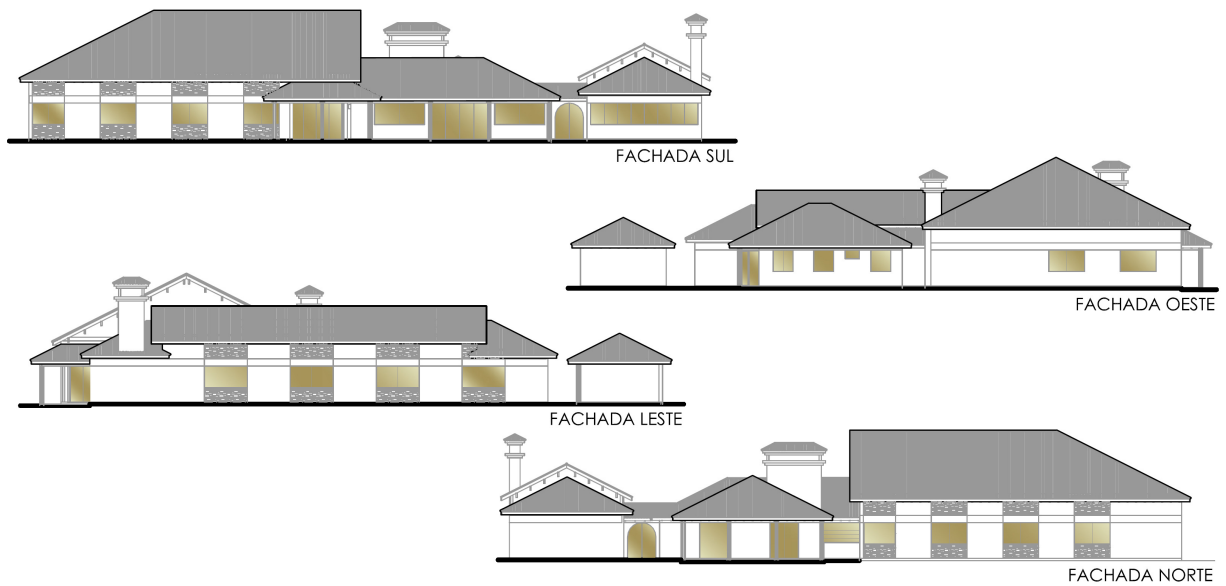


Figura 5.4 – Materiais da superfície externa das paredes

5.1.2.4 Cor e absorvância solar da cobertura

O acabamento da superfície da cobertura é de tinta marrom sobre a telha de fibrocimento, apresentando um coeficiente de absorção de 0,74 (ABNT, 2005b). Este valor final é superior ao valor limite de 0,5 para os níveis A e B, estabelecido pelo RTQ-C (BRASIL, 2010b).

5.2 Classificação parcial do requisito Sistema de Iluminação

5.2.1 Determinação do nível de eficiência do Sistema de Iluminação

A densidade de potência instalada para iluminação do edifício é de 5,19 W/m², de acordo com a carga total instalada para iluminação dos ambientes de 4100W e a área total atendida pelo sistema de iluminação de 789,08 m².

A Densidade de Potência de Iluminação Limite DPI_L , multiplicada à área total atendida pelo sistema de iluminação de cada nível, resultou na potência limite correspondente para cada nível, apresentada na tabela 5.9.

Tabela 5.9 – Potência de iluminação limite

| Função equivalente do edifício | Densidade de potência de iluminação limite DPI_L (W/m^2) | | | |
|--------------------------------|--|-----------|-----------|-----------|
| | Nível A | Nível B | Nível C | Nível D |
| Centro de Convenções | 11,6 | 13,3 | 15,1 | 16,8 |
| | Potência de iluminação limite (W) | | | |
| | 9.153,33 | 10.494,76 | 11.915,11 | 13.256,54 |

A potência total instalada para iluminação do edifício de 4100 W, comparada a potência limite para cada nível de eficiência do sistema de iluminação, classifica o sistema de iluminação no nível de eficiência “A”.

O resultado da potência total muito abaixo do limite permite destacar que a potência prevista para determinados ambientes, embora garantam um menor consumo de energia para iluminação, provavelmente não estão atendendo a iluminância mínima exigida pela norma brasileira de iluminação – NBR 5413. Esse dado não é verificado pelo RTQ-C, pois o mesmo pressupõe que a iluminação natural juntamente com a artificial está atendendo as recomendações da referida norma. E, em virtude da inexistência de projeto de iluminação, não é possível ser verificada a iluminância alcançada pelo sistema.

5.2.2 Atendimento aos pré-requisitos

- Controle do sistema de iluminação - Divisão dos circuitos

Este pré-requisito foi atendido, em virtude de que todos os ambientes apresentaram o controle manual para acionamento independente da iluminação interna do ambiente e a localização destes ser de fácil acesso, geralmente próximo

às portas de acesso. Os ambientes com área maior de 250 m² apresentaram mais de um dispositivo de controle, conforme projeto elétrico apresentado na Figura 5.5.

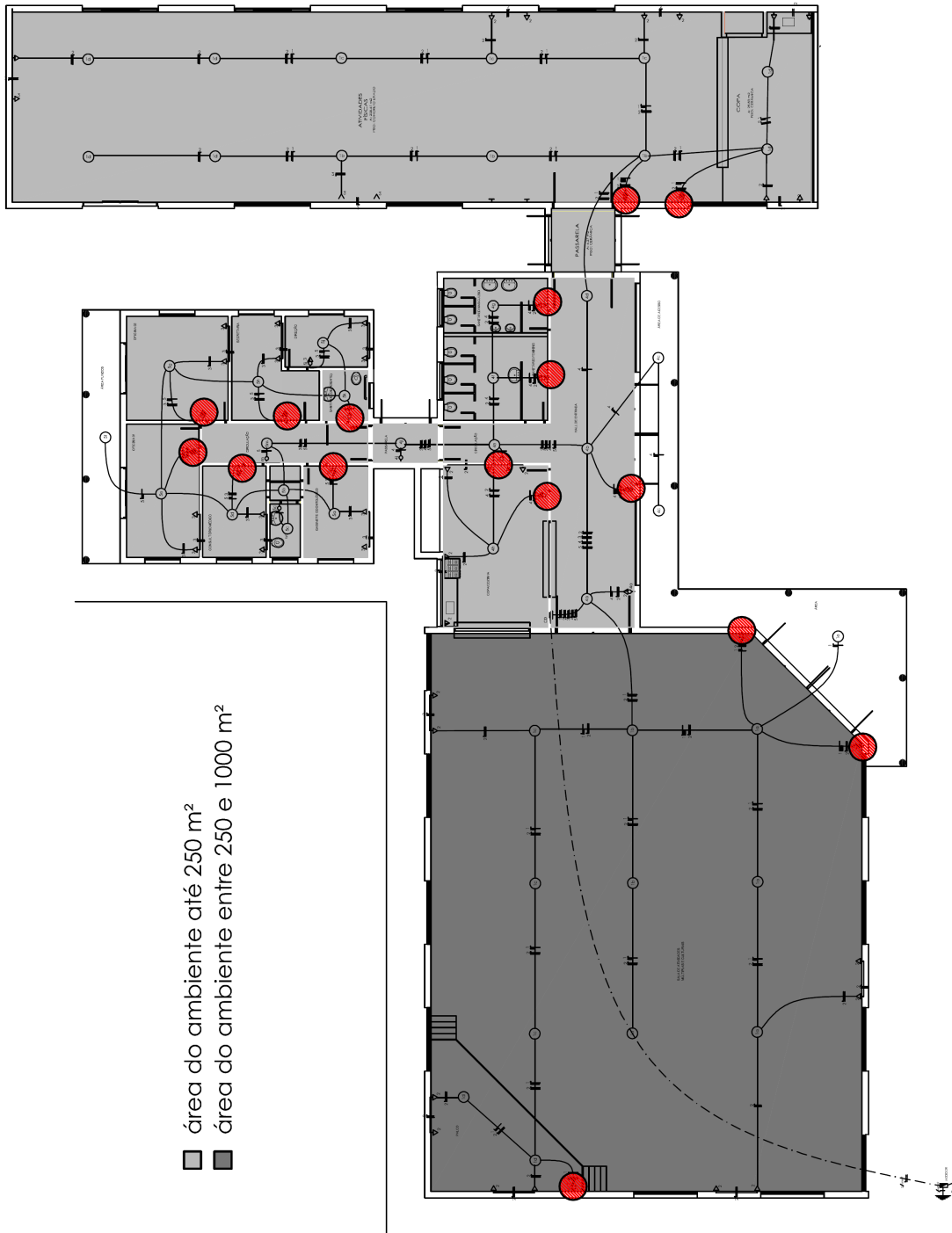


Figura 5.5 – Projeto elétrico e divisão dos circuitos comparada à área de cada ambiente

- Contribuição da luz natural

A maioria dos ambientes apresenta uma única fileira de luminárias. Os ambientes que apresentam mais de uma fileira de luminárias paralelas são as salas com áreas superiores a 200m², como a sala de múltiplas atividades e a sala de atividades físicas. Estas salas apresentam controle manual instalado, o qual aciona independente a fileira das luminárias mais próximas as janelas, conforme Figura 5.6.

Na sala de múltiplas atividades o controle é feito através de interruptor triplo localizado próximo ao acesso principal da sala o qual aciona os circuitos “2a”, “2b” e “2c” separadamente, e o interruptor simples que aciona o circuito “2d”. Já na sala de atividades físicas, o controle é feito através de interruptor duplo localizado próximo ao acesso principal da sala o qual aciona os circuitos “6a” e “6b”, separadamente. Desta maneira, este pré-requisito foi atendido.

- Desligamento automático

A única sala com área superior a 250m² é a de múltiplas atividades, a qual não apresenta sistema de desligamento automático, não atendendo a este pré-requisito.

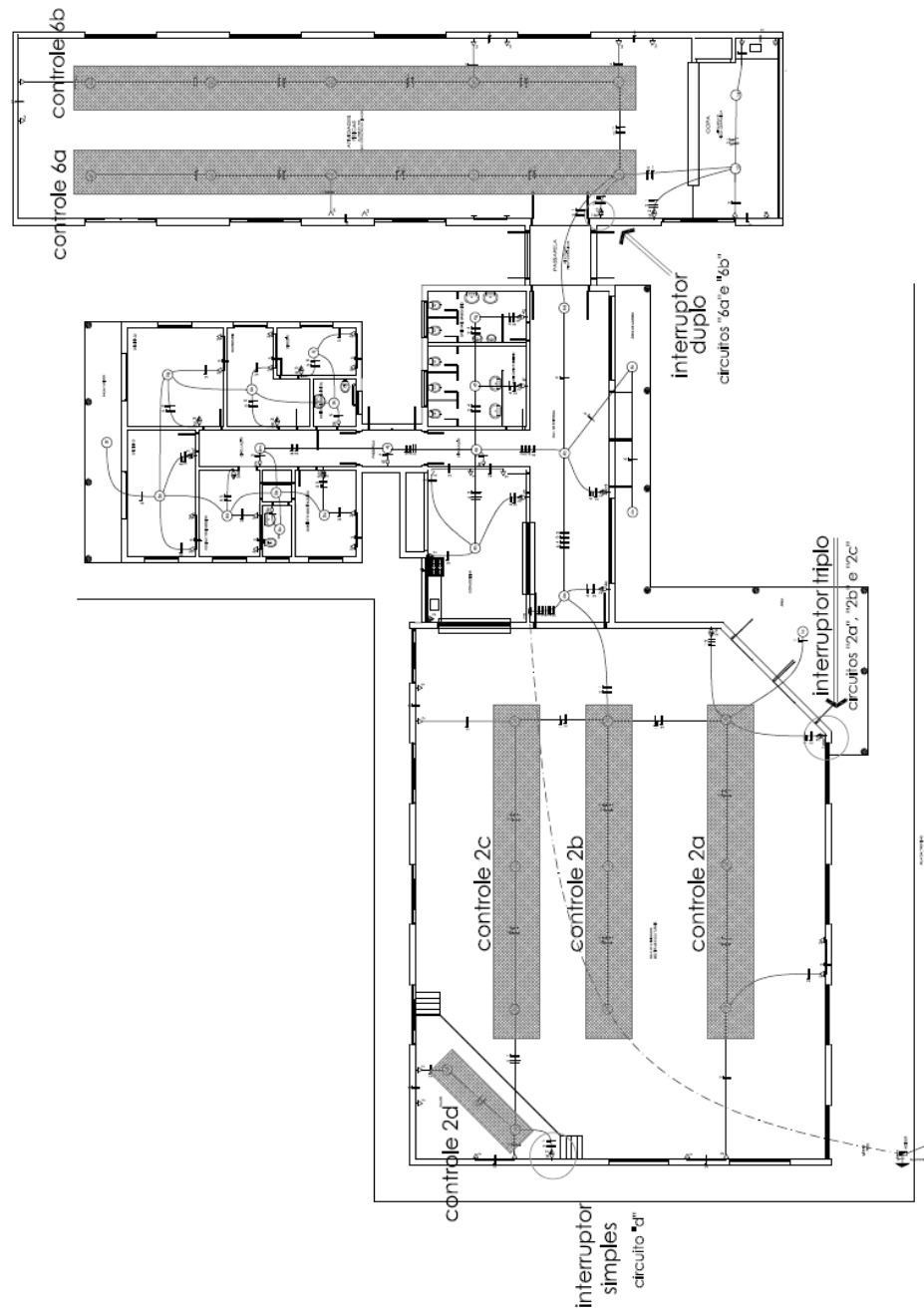


Figura 5.6 – Projeto elétrico ilustrando o desligamento manual independente dos circuitos

5.2.2.1 Resultado final com a verificação de atendimento aos pré-requisitos

Os pré-requisitos foram atendidos em parte, conforme se verifica na tabela 5.10. Porém, a classificação quanto ao sistema de iluminação mantêm-se no nível A de eficiência, correspondente ao equivalente numérico 4,73. Este valor foi obtido

através da ponderação do equivalente numérico dos ambientes, pela potência instalada de cada um, em função do atendimento aos pré-requisitos, conforme ilustra a tabela 5.11.

Tabela 5.10 – Atendimento aos pré-requisitos do sistema de iluminação

| PRÉ-REQUISITO | Atendimento ao pré-requisito | LIMITES DOS NÍVEIS ESTABELECIDOS PELO RTQ-C (BRASIL, 2010b) | | |
|---|------------------------------|---|---------|---------|
| | | NÍVEL A | NÍVEL B | NÍVEL C |
| Divisão dos Circuitos | sim | sim | sim | sim |
| Contribuição da Luz Natural | sim | sim | sim | |
| Desligamento automático do sistema de iluminação de ambientes maiores que 250,00 m ² | não | sim | | |

Tabela 5.11 – Ponderação dos EqNumDPI em função dos pré-requisitos atendidos

| AMBIENTES | Potência Instalada | % de Potência Instalada | EqNumérico |
|--|--------------------|-------------------------|-------------|
| Com área superior a 250 m ² | 1100 | 26,83 | 4 |
| Com área inferior a 250 m ² | 3000 | 73,17 | 5 |
| EqNumDPI ponderado | | | 4,73 |

5.3 Classificação geral do nível de eficiência da edificação

A classificação do Nível de eficiência energética da edificação é o Nível D. Os resultados lançados na equação 2.1, os quais determinaram a pontuação final, correspondente ao valor 2,47, são apresentados na tabela 5.12. A edificação não apresenta iniciativas que possibilitem aumentar a eficiência energética, logo o valor das bonificações foi nulo.

O EqNumV adotado foi o menor, correspondente ao percentual de horas ocupadas de conforto (POC) menor que 50%, pois não foi comprovado, através de simulação, que o ambiente interno das áreas não condicionadas proporciona temperaturas dentro da zona de conforto proposto pelo RTQ-C (Tabela 2.6).

Tabela 5.12 – Resultado e variáveis da equação da classificação geral

| VARIÁVEIS | RESULTADO | NÍVEL |
|---|-----------|-------|
| EqNumEnv | 1,00 | E |
| EqNumDPI | 4,73 | A |
| EqNumCA | 1,00 | E |
| EqNumV | 1,00 | E |
| APT – área piso amb. não-cond. de permanência transitória | 99,11 | - |
| ANC - área piso amb. não-cond. de permanência prolongada | 691,24 | - |
| AC – área de piso dos ambientes condicionados | 0,00 | - |
| AU – área útil | 790,35 | - |
| b - bonificações | 0,00 | - |
| PT | 2,47 | D |

6 ANÁLISE DE RESULTADOS

A classificação do nível de eficiência energética do edifício que abrigará o Centro de Convivência do Idoso, através da aplicação do RTQ-C ao projeto, permitiu examinar o método prescritivo, segundo os requisitos estabelecidos para a classificação dos níveis de eficiência parciais e geral da edificação.

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 | E |
| Sistema de Iluminação | A |
| Sistema de Condicionamento de Ar | E |
| CLASSIFICAÇÃO GERAL | NÍVEL |
| Edificação | D |

A seguir, são comentadas, para cada requisito do RTQ-C, a avaliação da aplicabilidade do regulamento sob a ótica do avaliador, a análise das variáveis utilizadas na determinação do nível de eficiência do objeto de estudo e a análise do regulamento sob a ótica da prática arquitetônica, com o propósito de contribuir para elaboração de projetos mais eficientes.

6.1 Envoltória

6.1.1 Avaliação da aplicabilidade do regulamento sob a ótica do avaliador

A classificação do edifício proposta pelo regulamento exige informações detalhadas e organizadas das características construtivas e dimensionais da envoltória em sua totalidade.

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. Os projetos não apresentam os dados que serão necessários para a aplicação do regulamento. Esse fato interfere no trabalho e no tempo envolvido para a preparação e organização desses dados.

Em específico, as diferentes áreas necessárias para o cálculo do índice de consumo da envoltória, bem como o volume da edificação, as áreas de abertura e os ângulos de sombreamento, são informações as quais não constam nos projetos formatadas para o cálculo. No caso do fator solar dos vidros, além de ser uma informação geralmente ausente nos projetos e memoriais, a utilização de vidros cuja fabricação é confiável, a qual poderia fornecer com precisão tal dado, ainda é restrita, o que dificulta ainda mais o uso dessa variável.

Já as informações necessárias para verificação do atendimento aos pré-requisitos como as propriedades térmicas dos fechamentos opacos da envoltória têm pouca divulgação de seus dados. A própria NBR 15220 apresenta poucas composições de fechamentos e um banco de dados restrito de tais propriedades a serem utilizados nos cálculos. Essa situação poderia ser melhorada com a capacitação de laboratórios, caso contrário, o registro normativo e divulgação dessas características poderão retardar o processo de classificação.

Outro fator, que o RTQ-C não menciona, é qual transmitância térmica da cobertura deve ser considerada, se a de inverno ou a de verão, ou a pior situação entre os dois casos.

Em uma discussão mais abrangente, deve-se ressaltar que a compatibilização entre as etapas de projeto e execução, a disponibilidade e a

acessibilidade de recursos técnicos e humanos são dependentes do perfil de cada local. Isso se deve ao fato de que algumas realidades não apresentam a necessária condição de desenvolvimento da visão holística, dinâmica e multidisciplinar do processo de um projeto eficiente. A submissão de um edifício a este regulamento necessitará esta visão mais ampla, favorecendo o trabalho em equipe dos profissionais envolvidos.

6.1.2 Análise das variáveis utilizadas na determinação do nível de eficiência

O Nível de eficiência da envoltória, sem o atendimento aos pré-requisitos, apresenta a melhor classificação: nível A. Esse resultado permite observar que os componentes opacos, definidos somente nos pré-requisitos, possuem participação significativa no resultado final do requisito envoltória.

Constatando que o único pré-requisito atendido para o nível A foi coeficiente de absorção das paredes, a variável transmitância térmica dos dois tipos de fechamentos e os coeficientes de absorção da cobertura foram testados no intuito de melhorar o nível de eficiência da envoltória do objeto de estudo, conforme apresenta-se nas tabelas 6.2, 6.3 e 6.4.

As composições dos materiais das paredes foram consultados na NBR-15220-3 (2005) e apresentados na tabela 6.2.

Tabela 6.2 – Variações da Upar conforme composição dos materiais

| PAREDE | MATERIAL | Upar (W/m ² K) | PRÉ-REQUISITO | |
|--------|---|------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | | | Nível A | Nível B |
| 01 | Tijolos 6 furos circulares, assentados na maior dimensão, rebocado dos dois lados – espessura 20cm | 1,92 | Upar ≤ 1,0 W/m ² K | Upar ≤ 2,0 W/m ² K |
| 02 | Tijolos 8 furos quadrados, assentados na maior dimensão, rebocado dos dois lados – espessura 24cm | 1,80 | | |
| 03 | Tijolos 8 furos circulares, assentados na maior dimensão, rebocado dos dois lados – espessura 25cm | 1,61 | | |
| 04 | Parede dupla com tijolos 6 furos circulares, assentados na menor dimensão, rebocado dos dois lados – espessura 26cm | 1,52 | | |
| 05 | Parede dupla com tijolos 6 furos circulares, assentados na maior dimensão, rebocado dos dois lados – espessura 36cm | 1,21 | | |
| 06 | Parede dupla com tijolos 8 furos circulares, assentados na maior dimensão, rebocado dos dois lados – espessura 44cm | 1,12 | | |
| 07 | Parede dupla com tijolos 6 furos circulares, assentados na menor dimensão, rebocado dos dois lados – espessura 46cm | 0,98 | | |

Fonte: NBR 15220-3 (2005)

Os materiais da cobertura foram testados com materiais de propriedades térmicas relevantes e conforme disponibilidade no mercado. Os testes foram elaborados com substituições de um ou mais materiais que compõe a cobertura, bem como a adição de algumas composições de materiais de baixa emissividade, como a manta aluminizada, e materiais de baixo coeficiente de condutividade como o poliestireno expandido.

Os resultados das transmitâncias térmicas do projeto atual e de cada composição, tanto para o verão como para o inverno, são apresentados na tabela 6.3.

Tabela 6.3 – Variações da Ucob conforme composição dos materiais testados para cobertura

| COBERTURA | MATERIAL | Ucob (W/m ² K) | | PRÉ-REQUISITO | | |
|----------------------|---|---------------------------|---------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | | Verão | Inverno | NÍVEL A | NÍVEL B | NÍVEL C e D |
| PROJETO ATUAL | Fibrocimento 6mm + câmara de ar não ventilada + forro de PVC | 2,02 | 3,22 | Ucob ≤ 1,0 W/m ² K | Ucob ≤ 1,5 W/m ² K | Ucob ≤ 2,0 W/m ² K |
| Composição 02 | Fibrocimento 6mm + câmara de ar ventilada + forro de PVC | 2,02 | 3,77 | | | |
| Composição 03 | Fibrocimento 6mm (c/ manta aluminizada) + câmara de ar não ventilada + forro de PVC | 1,11 | 2,06 | | | |
| Composição 04 | Telha cerâmica 10mm + câmara de ar não ventilada + forro de PVC | 2,01 | 2,78 | | | |
| Composição 05 | Fibrocimento 6mm + câmara de ar não ventilada + laje de concreto 13 cm | 1,94 | 2,67 | | | |
| Composição 06 | Fibrocimento 6mm + câmara de ar não ventilada + forro de madeira de pinus | 2,01 | 2,80 | | | |
| Composição 07 | Fibrocimento 6mm + câmara de ar não ventilada + poliestireno expandido 2,5 mm + forro de PVC | 0,89 | 1,02 | | | |
| Composição 08 | Fibrocimento 6mm (c/ manta aluminizada) + câmara de ar não ventilada + laje de concreto 13 cm | 1,09 | 1,98 | | | |

A composição 02 trata-se da situação atual, mas considerando que o telhado seria ventilado com onze exaustores eólicos de 50 cm de diâmetro, localizados na cumeeira. Já a composição 03 é a situação atual, com manta aluminizada colocada logo abaixo das telhas de fibrocimento. Na composição 04, a telha da situação atual foi substituída por telha cerâmica natural de 10 mm. Nas composições 05 e 06, o forro foi substituído por laje de concreto e forro de madeira de pinus respectivamente. Na composição 07, mantém-se a estrutura atual da cobertura, porém é inserido uma camada de poliestireno expandido de 2,5 mm sobre o forro de PVC. E, por fim, o forro é substituído por laje e sob a telha de fibrocimento é colocada uma manta aluminizada.

Os cálculos de transmitância térmica para o telhado dimensionado no objeto de estudo demonstram que para o atendimento ao pré-requisito da transmitância térmica, materiais convencionais, como telhas de fibrocimento e de barro e forros de

PVC ou laje não são suficientes para o atendimento ao pré-requisito. Percebe-se que a utilização de materiais de baixa emissividade ou isolantes são necessários para um melhor desempenho da cobertura. Caso contrário, sempre terá classificação E, em função do limite dado à propriedade transmitância térmica da cobertura.

Como o RTQ-C está classificando o projeto e não ainda a edificação já construída, mudanças podem ocorrer para melhorar a eficiência.

No quesito transmitância térmica da cobertura é válido salientar que o RTQ-C apresenta certa rigidez, pois na transmitância térmica da cobertura, a NBR 15220-3 faz uma ressalva quanto a telha de fibrocimento e as telhas de barro, apesar da semelhança entre a transmitância térmica da cobertura com telhas de barro e aquela com telhas de fibrocimento, o desempenho térmico proporcionado por estas duas coberturas é significativamente diferente, pois as telhas de barro são porosas e permitem a absorção de água (de chuva ou de condensação). Este fenômeno contribui para a redução do fluxo de calor para o interior da edificação, pois parte deste calor será dissipado no aquecimento e evaporação da água contida nos poros da telha. Isso significa que fenômenos que contribuem para redução do fluxo de calor para o interior da edificação, como a evaporação da água facilitada por alguns materiais, não é considerada.

No caso da variável absorptância à radiação solar da cobertura, conforme NBR 15220, a alteração da propriedade térmica da cobertura para valores inferiores a 0,50 permitiriam a elevação do nível de eficiência da envoltória. Na tabela 6.4 observa-se que, para atender ao pré-requisito, seria necessária apenas a especificação da pintura em cor mais clara para superfície externa da telha de fibrocimento.

Tabela 6.4 – Variações da α_{cob} conforme composição dos materiais testados para cobertura

| COBERTURA | TIPO DE SUPERFÍCIE | α_{cob} | PRÉ-REQUISITO |
|------------|-------------------------|----------------|----------------------|
| Projeto | Pintura marrom | 0,74 | $\alpha_{cob} < 0,5$ |
| Situação 2 | Pintura Branca | 0,2 | |
| Situação 3 | Telha de barro aparente | 0,75 | |

Vale destacar, que o coeficiente de absorção limite é o mesmo para todas as zonas bioclimáticas, diferentemente das transmitâncias, as quais variam por zona.

O atendimento aos pré-requisitos é fundamental para a classificação do requisito envoltória, porém não garante a melhor classificação. Tanto os pré-requisitos, quanto o ICenv devem apresentar resultados favoráveis para obtenção de bom nível de eficiência energética.

Todavia, embora o ICenv tenha resultado no nível A, vale verificar quais fatores contribuíram para esse resultado. Para tanto, foram criados cenários de análise e elaborados gráficos nos quais foram testadas as variáveis que não alteram o corpo do edifício em área de piso e fachada, como o fator solar dos vidros, os ângulos de sombreamento e o percentual de abertura de fachada. Assim, mantêm-se os mesmos limites dos intervalos de níveis de eficiência já calculados para o objeto de estudo, conforme tabela 5.5.

Na tabela 6.5 são apresentados os resultados do ICenv com alterações de dados para o mínimo, a fim de verificar a influência dos mesmos na classificação resultante para a envoltória do edifício.

O cenário 01 apresenta o valor do ICenv, considerando o Fator Solar de 87% para vidros comuns com espessura de 4mm. No cenário 02 são desconsiderados os ângulos de sombreamento. No cenário 03 alterou-se o percentual de abertura de fachada oeste para 20% do percentual de abertura de fachada total. Por fim, no cenário 05 é aumentado o percentual de abertura de fachada para 50% de abertura em relação à área de fachada.

Tabela 6.5 – Variações do ICenv em diferentes cenários de análise

| Cenário | Variável alterada | Valor do projeto | Valor da variável | ICenv Resultante | Classificação Nível |
|-----------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|---------------------|
| CENÁRIO 1 | FS | 0,6 | 0,87 | 140,38 | A |
| CENÁRIO 2 | AVS AHS | 27,79 45 | 0 0 | 139,95 | A |
| CENÁRIO 3 | PASo | 0,152 | 0,183 | 139,89 | A |
| CENÁRIO 4 | PAFt | 0,152 | 0,50 | 148,30 | B |

Considerando que o ICenv resultante foi de 139,07, e que quanto maior seu valor a tendência é diminuir a eficiência, observa-se nos cenários 01 e 03, em que

houve a alteração, somente de umas das variáveis: fator solar ou PAFo, o índice de consumo da envoltória aumentou menos de 1%.

Analisando os cenários 02 e 04 é possível verificar que as variáveis as quais contribuem consideravelmente para a elevação do índice de consumo são os ângulos de sombreamento e PAFt. De acordo com a tabela 5.5, o ICenv, correspondente ao nível B, apresenta um intervalo determinado pelos limites de 142,77 a 149,43, sendo assim ICenv do cenário 02 de 139,95 está muito próximo do limite do intervalo para o nível B. Já no cenário 04 o ICenv resultante classifica a edificação no nível B e ainda apresenta-se muito próximo do limite para ser classificada com nível C, o que ressalta a importância da variável percentual de abertura de fachada para a eficiência da edificação.

Partindo-se dos cenários anteriores, utilizando as três variáveis testadas com a pior situação de valores, são criados cenários alterando de duas a duas essas variáveis combinadas e, em seguida, as três variáveis no mesmo cenário, conforme se verifica nas tabelas 6.6, 6.7, 6.8 e 6.9.

Tabela 6.6 – Variações do ICenv em função de AVS, AHS e FS

| Cenário 05 | Valor do projeto | Valor da variável |
|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| AVS | 27,79 | 0 |
| AHS | 45 | 0 |
| FS | 0,60 | 0,87 |
| ICenv resultante | | 141,27 |
| Nível | | A |

Tabela 6.7 – Variações do ICenv em função de AVS, AHS e PAF

| Cenário 06 | Valor do projeto | Valor da variável |
|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| AVS | 27,79 | 0 |
| AHS | 45 | 0 |
| PAF | 0,152 | 0,50 |
| ICenv resultante | | 157,64 |
| Nível | | D |

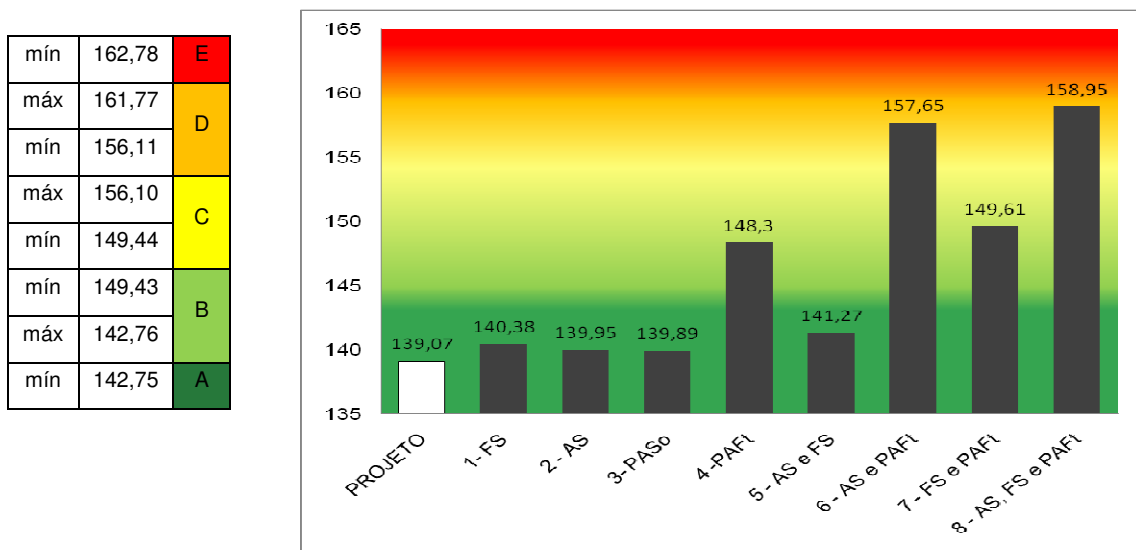
Tabela 6.8 – Variações do ICenv em função do FS e PAF

| Cenário 07 | Valor do projeto | Valor da variável |
|-------------------------|------------------|-------------------|
| FS | 0,6 | 0,87 |
| PAF | 0,152 | 0,50 |
| ICenv resultante | | 149,61 |
| Nível | | C |

Tabela 6.9 – Variações do ICenv em função do FS, AVS, AHS e PAF

| Cenário 08 | Valor do projeto | Valor da variável |
|-------------------------|------------------|-------------------|
| FS | 0,6 | 0,87 |
| AVS | 27,79 | 0 |
| AHS | 45 | 0 |
| PAF | 0,152 | 0,50 |
| ICenv resultante | | 158,95 |
| Nível | | D |

A comparação entre os cenários é apresentada na Figura 6.1, o qual apresenta o ICenv para o projeto e para cada cenário, ilustrando através de cores, do verde até o vermelho o nível de eficiência de A a E, respectivamente.

**Figura 6.1** – Variações do ICenv, conforme cenários de análise

Os cenários indicam que as variáveis que menos interferem no nível de eficiência são o FS e AS, pois mesmo trabalhando sem proteções solares e com fator solar dos vidros mínimo (cenário 05), a edificação continua classificada no nível A, porém muito próxima do nível B. Desta forma, a variável PAF é fundamental.

No momento em que participa a variável PAFt a tendência é piorar expressivamente o nível de eficiência. A combinação desta variável com o FS (cenário 07), que sozinho (cenário 01) não interfere muito, acaba classificando a edificação no nível C. Já a combinação do PAFt com o ângulo de sombreamento (cenário 06), classifica a edificação no nível D. Neste mesmo nível se mantém a edificação, porém com um pequeno aumento do ICenv, no caso de ter FS dos vidros máximo, combinado com PAFt maior e inexistência de ângulos de sombreamento.

Nas figuras 6.2, 6.3, 6.4 e 6.5 são apresentados os resultados do ICenv com o crescimento dos valores de cada variável, demonstrando a contribuição de cada uma no resultado da eficiência. A análise dos gráficos reforça a interferência de cada variável no ICenv da edificação.

A figura 6.2, demonstra a variação do ICenv a medida em que se utiliza um fator solar mais alto, com alto coeficiente de transmissividade. O ICenv elevou proporcionalmente em uma variação de 3,16.

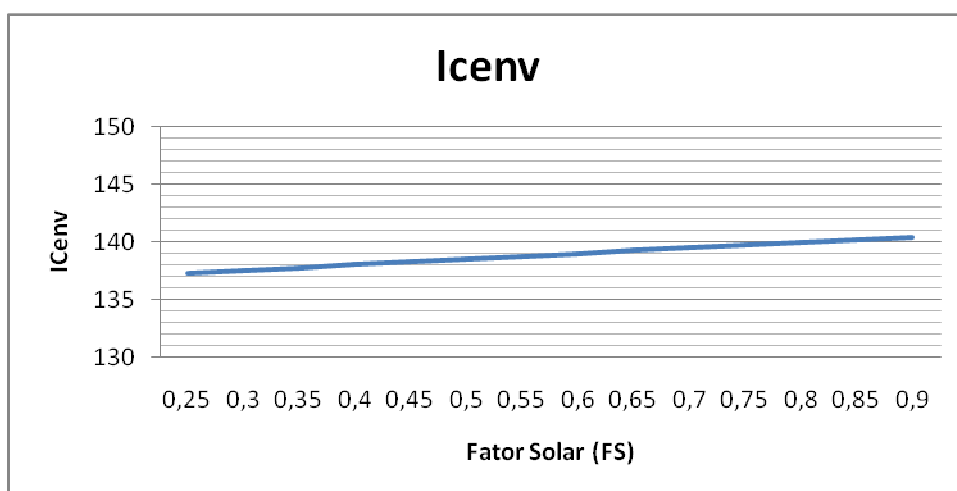


Figura 6.2 – ICenv em função do FS

Já no caso dos ângulos de sombreamento há uma comprovação em parte, pois o ICenv melhorou proporcionalmente em função do aumento da AVS de 10° a 45° apresentando uma variação de 11,20 do ICenv (Figura 6.3). No caso do AHS, ocorre o inverso, pois ICenv aumentou a medida em que se propõe AHSs mais altos, elevando o ICenv em numa variação de 6,26 (Figura 6.4). Esse resultado, aparentemente incoerente, é testado mais adiante em função de outras variáveis, a fim de obter um esclarecimento desta elevação do ICenv.

A variável PAFt, a qual se apresentou mais relevante nos cenários 1 a 4, demonstra na figura 6.5 uma contribuição significativa para o aumento do ICenv, em uma variação de 45,74, considerando o menor percentual de abertura até a abertura total da fachada.

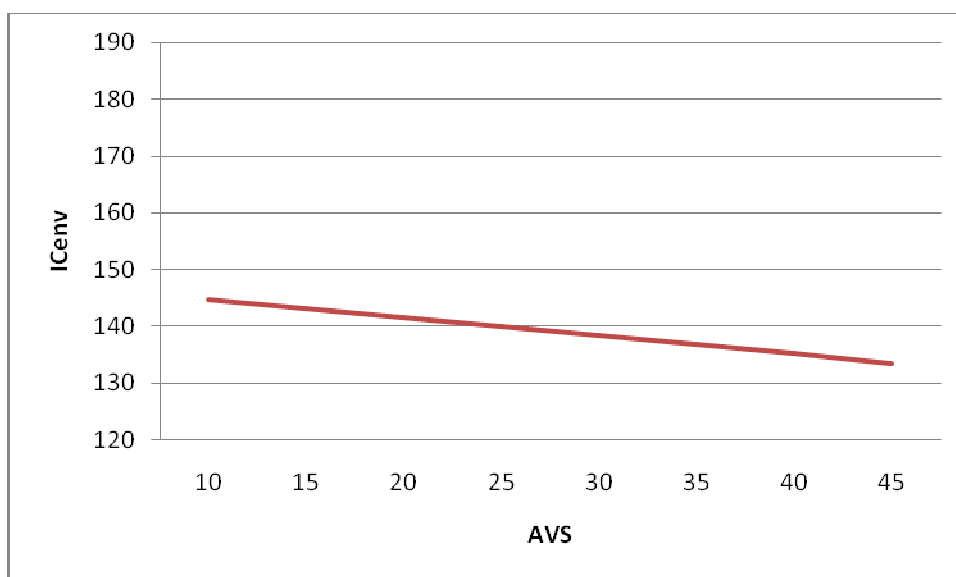


Figura 6.3 – ICenv em função do AVS

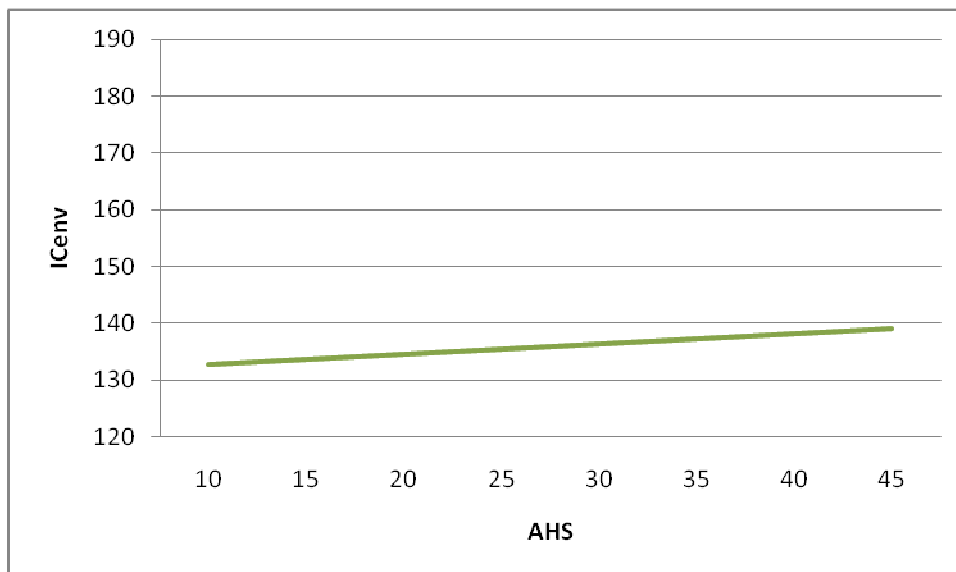


Figura 6.4 – ICenv em função do AHS

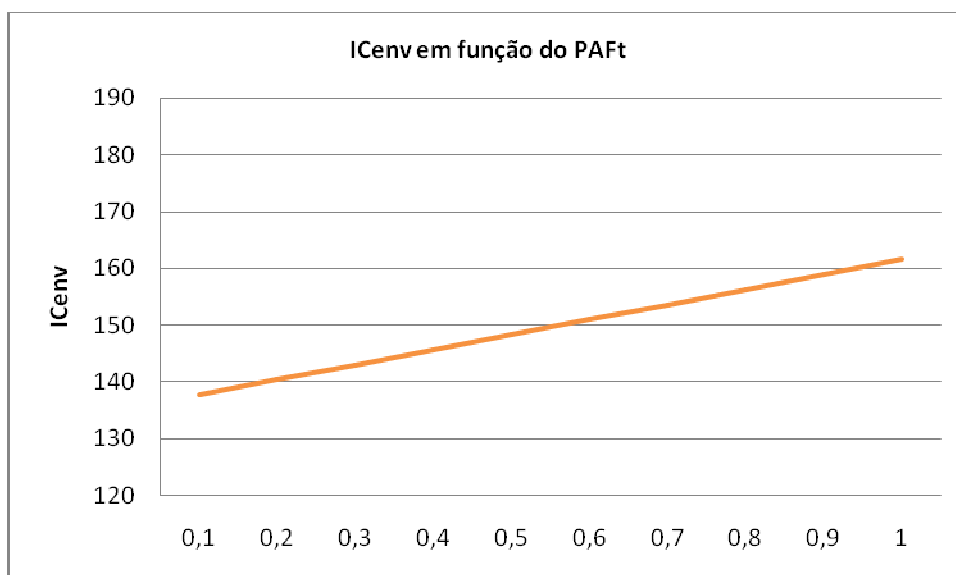


Figura 6.5 – ICenv em função do PAFt

Nas figuras 6.6, 6.7 e 6.8 são apresentados os resultados do ICenv com o aumento da variável Fator Solar dos vidros e o aumento dos ângulos de sombreamento para cada percentual de abertura de fachada, demonstrando a contribuição combinada das mesmas no resultado da eficiência.

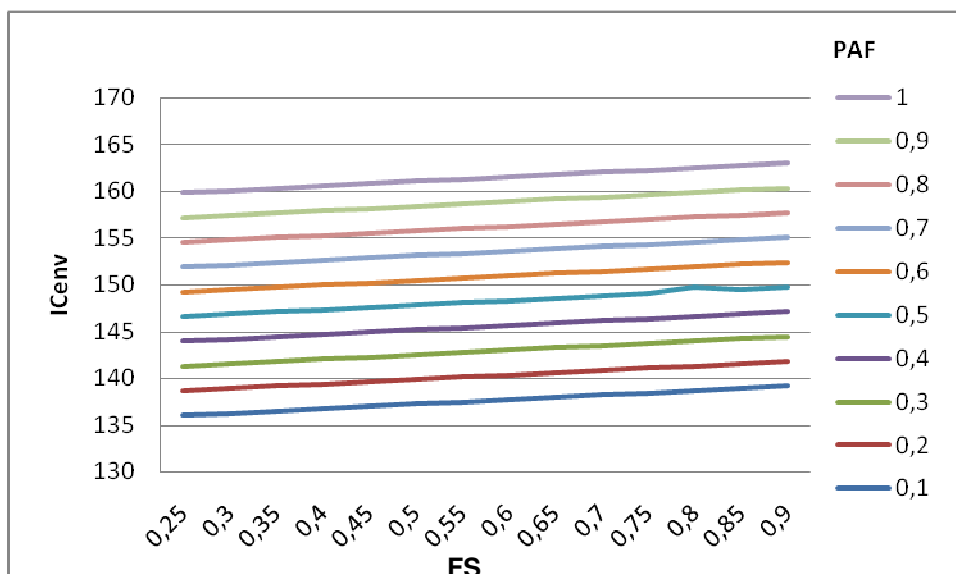


Figura 6.6 – ICenv em função do FS e o PAFt

Conforme se verifica no gráfico 6.6, o ICenv aumenta proporcional ao aumento das variáveis fator solar dos vidros e o percentual de abertura de fachada em uma variação de 3,15 do ICenv para cada percentual de abertura de fachada.

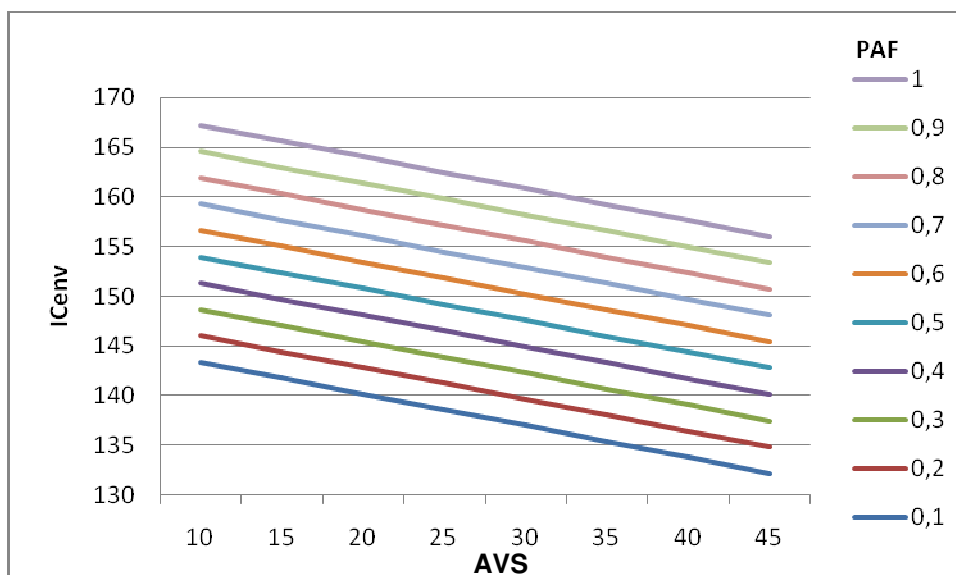


Figura 6.7 – ICenv em função do AVS e o PAFt

No caso do ICenv, aumentando-se o AVS para cada PAFt proposto na figura 6.7, o mesmo reduz-se proporcionalmente, com uma variação de 11,20 já verificada na figura 6.3.

A figura 6.8 apresenta a variação do ICenv em função do AHS para cada PAFt, o qual demonstra um crescimento inconstante em função desta última variável. O ICenv, na faixa de 10 a 50% de abertura de fachada, aumenta com a colocação de proteções solares verticais. No momento em que há uma abertura expressiva de fachada, acima de 50%, percebe-se que o ICenv começa a reduzir em função do AHS, podendo-se concluir que as proteções verticais para esse edifício só melhorariam a eficiência no caso de serem propostas para um PAF alto.

Esse fato exige uma análise mais criteriosa da fórmula proposta para o cálculo do ICenv e da real contribuição da variável AHS. No entanto, é válido destacar a zona bioclimática em que a edificação está inserida, partindo do princípio de que a proteção solar não é bem vinda no caso de aberturas menores, já que, na estação fria, deve-se permitir a incidência solar nesta época do ano. Entretanto, seguindo na mesma linha de raciocínio, o AVS também deveria apresentar o mesmo comportamento em função do PAF.

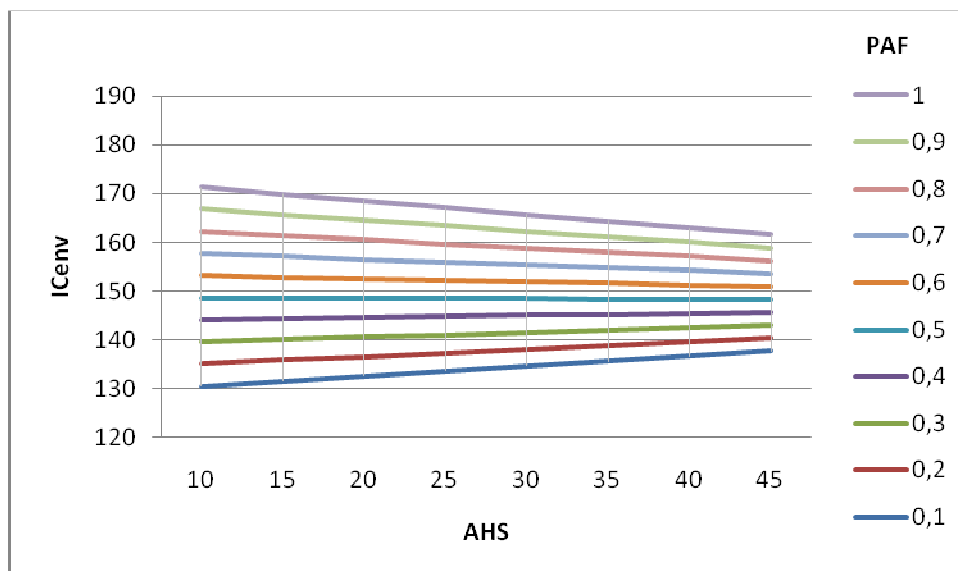


Figura 6.8 – ICenv em função do AHS e o PAFt

Em um último cenário criado, conforme tabela 6.10, interfere-se no corpo do edifício, no intuito de verificar se o volume entre a cobertura e o forro, considerado expressivo, interfere no resultado do ICenv. Sendo assim, neste cenário é considerada a edificação sem cobertura com telhas de barro, somente a laje, fato que modifica o volume da edificação e área da envoltória, bem como o percentual de abertura de fachada, já que são excluídas as áreas dos oitões do telhado. Neste caso, os valores do intervalo para comparação da eficiência também são modificados, como apresenta a tabela 6.11.

Tabela 6.10 – Variações do ICenv conforme cenários de análise

| Cenário 09 | Valor do projeto | Valor da variável |
|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| PAFt | 0,152 | 0,157 |
| Aenv | 2061,05 | 1951,14 |
| Volume | 4873,20 | 3331,07 |
| ICenv resultante | | 136,25 |
| Nível | | A |

Tabela 6.11 – Indicadores de consumo limites para cada nível e eficiência para o cenário 8

| EFICIÊNCIA | A | B | C | D | E |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| LIM MÍN | | 147,71 | 154,38 | 161,05 | 167,73 |
| LIM MÁX | 147,70 | 154,37 | 161,04 | 167,72 | |

No cenário 9 não é analisado quanto esta situação interfere no atendimento aos pré-requisitos; no entanto, considerando o estudo do ICenv, pode-se argüir, neste caso, que a volumetria do telhado não interfere no nível de eficiência da edificação. Esse resultado pode ser atribuído ao fato de que no momento em que se diminui o volume, também se reduz a área de envoltória, mas não a ponto de aumentar consideravelmente o percentual de abertura de fachada, o que, conforme já discutido contribui para o aumento do ICenv.

Em uma última análise, além das variáveis já testadas nos cenários hipotéticos, deve ser ressaltado que o RTQ-C não considera orientação solar de fachadas nas proteções solares, apenas o sombreamento que essa proteção proporcionaria, independente da orientação solar.

Esse fato pode resultar em um ângulo de sombreamento que contribuirá para redução do ICenv, porém dependendo da posição da proteção, se vertical ou horizontal, e a sua localização em relação orientação solar, resultará em uma eficiência que não condiz com a eficiência real da proteção.

Percebe-se que a orientação solar, um fator de extrema importância na elaboração de projetos de arquitetura, é considerada somente no percentual de abertura de fachada oeste, no caso de exceder 20% do percentual de abertura total.

6.1.3 Análise do Regulamento sob a ótica do projetista

Os resultados indicados confirmam a importância das variáveis Transmitância Térmica e Absortância à Radiação 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.

Logo, para que a eficiência resultante do ICenv não seja limitada, sugere-se atenção quanto a especificação dos materiais dos fechamentos opacos de paredes e cobertura.

Uma vez atendido os pré-requisitos, trabalha-se com as variáveis que diminuem o índice de consumo da envoltória. Neste caso, conforme cenários de análise, atentar para o Fator Solar dos vidros, as proteções solares e o percentual de abertura de fachada.

6.1.3.1 Paredes

No caso das paredes, ao consultar as composições apresentadas na NBR 15220-3, deve-se ter o cuidado ao especificar paredes com materiais de grande transmitância térmica e espessuras reduzidas, como paredes em concreto maciço ou tijolo maciço aparente. As composições com tijolos furados apresentam menores transmitâncias para o atendimento ao pré-requisito, mas nenhuma garante nível A, a

classificação em melhor nível exige grandes espessuras de parede ou a especificação de alguma camada da parede com material isolante.

6.1.3.2 Cobertura

Já a cobertura, por se tratar de um fechamento quase perpendicular à radiação solar, e no caso do objeto de estudo, o qual é uma edificação térrea e boa parte da radiação chega pela cobertura, a atenção deve ser redobrada. De acordo com os cenários apresentados na tabela 6.3, somente com materiais de baixa emissividade ou isolantes térmicos atende ao pré-requisito exigido para níveis mais altos de eficiência energética.

Ainda, a localização destes materiais é importante, pois, no caso de coberturas com câmara de ar não ventiladas ou pouco ventiladas, os materiais com propriedades térmicas isolantes ou de baixa emissividade devem ser colocados acima da câmara de ar, ou seja, logo abaixo da telha, a fim de minimizar a entrada de calor no verão e saída deste no inverno.

6.1.3.3 Superfícies das paredes e cobertura

Para melhorar o atendimento aos pré-requisitos da envoltória, optar por cores claras, tanto nas paredes como nas coberturas. Isso significa utilização de coeficientes de absorção de até 50% para manter-se no nível A.

6.1.3.4 Materiais transparentes

O parâmetro Fator Solar é a variável presente na equação que apresenta menor influência no indicador de consumo da envoltória, porém conjugado outras variáveis contribui para a variação do ICenv.

6.1.3.5 Proteções Solares

As proteções solares, por meio de ângulos verticais e horizontais de sombreamento (AVS e AHS), proporcionam redução no indicador de consumo, independente da fachada em que estão localizadas na maioria dos casos. O AHS, conforme já verificado, colabora com a redução do ICenv, considerando a edificação em estudo, ao apresentar um PAFt superior a 50%.

6.1.3.6 Aberturas em fachadas

Deve-se ter cautela no momento de propor grandes aberturas nas fachadas, principalmente na fachada oeste, pois é somente neste momento em que esta fachada crítica é considerada no cálculo do ICenv.

Essa análise deve-se ao fato de que a variável que mensura as aberturas de fachadas, o PAFt, destacou-se como a variável que apresentou maior influência na variação do ICenv.

Nos cenários apresentados nas tabelas 6.5 a 6.8, pôde-se perceber que o aumento do PAFt, bem como a combinação com as demais variáveis modificadas reduziram a classificação da edificação. O objeto de estudo deste trabalho, que apresenta baixo percentual de abertura, entorno de 15%, obteve nível A.

Em última análise, a preocupação com as aberturas na fachada oeste é pertinente no momento em que ela é considerada quando se tem um percentual de abertura na fachada oeste significativamente maior que o percentual de abertura total das fachadas (mais de 20%).

6.2 Sistema de Iluminação

6.2.1 Avaliação da aplicabilidade do regulamento

A classificação do sistema de iluminação pelo RTQ-C apresenta dois métodos para determinação da eficiência. Ambos não apresentam um procedimento complexo para aplicação a fase de projeto, pelo contrário, avaliam o controle do sistema de iluminação e a densidade de potência de iluminação instalada. Esses dados apresentam-se no próprio projeto elétrico, não sendo necessária a apresentação de um projeto de iluminação mais detalhado.

No entanto, no método das atividades do edifício, se houver a necessidade de conferir o índice de ambiente (K) ou o *Room Cavity Ratio* (RCR) do ambiente, para verificação da densidade de potência limite, faz-se necessário um projeto de iluminação mais detalhado, ou de dados mais completos para o cálculo dos mesmos.

No caso da aplicação do método ao edifício construído, a obtenção das características dos componentes do sistema para edificações existentes torna-se mais difícil, devido à acessibilidade a determinados equipamentos ou instalações que podem representar um obstáculo à aplicação do Regulamento.

Contudo, a compreensão do método não é clara em alguns aspectos. O RTQ-C, quanto ao fator conforto visual, pressupõe que os níveis de iluminância recomendados pela NBR 5413 já tenham sido atendidos para potência de iluminação apresentada.

Ainda, na verificação da contribuição da luz natural, percebe-se uma pequena indefinição quanto ao controle da fileira de luminárias paralelas mais próxima à janela. Por exemplo, no caso de um ambiente retangular apresentar janelas em três dos quatro planos que delimitam o ambiente, se há obrigatoriedade de constar uma fileira paralela ao terceiro plano de parede com janela para o atendimento a este pré-requisito.

6.2.2 Análise das variáveis utilizadas na determinação do nível de eficiência

O método da área do edifício aplicado a edifícios com até três atividades principais ou por atividades que ocupem mais de 30% da área do edifício, deixa margem no caso de se ter algumas atividades importantes com áreas inferiores a 30% da área do edifício. Ainda, há uma limitação das atividades, a atividade equivalente muitas vezes pode não corresponder a real situação do projeto.

Já o método das atividades do edifício considera a área de cada ambiente e as respectivas DPI_L . Sendo assim, para verificar se há uma diferença significativa no nível de eficiência do sistema de iluminação, calculado a partir deste método, são apresentados, na tabela 6.12, os limites de potência para cada sala e os respectivos equivalentes numéricos.

Tabela 6.12 – Cálculo do EqNum do Sistema de Iluminação pelo método das atividades do edifício

| Ambiente | Área (m ²) | Potência de projeto (W) | Potência de Iluminação Limite (W) | | | | EqNum |
|-----------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------------------|--------------|--------------|---------------|----------|
| | | | Nível A | Nível B | Nível C | Nível D | |
| Atividades Múltiplas | 363,99 | 1100 | 3094 | 3713 | 4331 | 4950 | |
| Atividades Físicas | 208,61 | 1000 | 1627 | 1953 | 2278 | 2603 | |
| Copa | 25,83 | 200 | 276 | 332 | 387 | 442 | |
| Copa/Cozinha | 26,03 | 100 | 279 | 334 | 390 | 446 | |
| Sanitário PcD | 3,41 | 100 | 17 | 20 | 24 | 27 | |
| WC | 2,52 | 100 | 13 | 15 | 18 | 20 | |
| Sanitário Fem. | 13,53 | 100 | 68 | 81 | 95 | 108 | |
| Sanitário Masc. | 8,81 | 100 | 44 | 53 | 62 | 70 | |
| Circulação | 6,38 | 200 | 45 | 54 | 63 | 72 | |
| Passarela | 3,75 | 100 | 27 | 32 | 37 | 43 | |
| Circulação | 9,75 | 100 | 69 | 83 | 97 | 111 | |
| Hall/Entrada | 49,69 | 300 | 353 | 423 | 494 | 564 | |
| Consultório Médico | 9,00 | 100 | 86 | 103 | 120 | 137 | |
| Gabinete Odontológico | 9,00 | 100 | 86 | 103 | 120 | 137 | |
| Secretaria | 10,92 | 100 | 111 | 134 | 156 | 178 | |
| Direção | 6,50 | 100 | 66 | 80 | 93 | 106 | |
| Oficina 2 | 16,40 | 100 | 280 | 337 | 393 | 449 | |
| Oficina 1 | 14,96 | 100 | 256 | 307 | 358 | 409 | |
| Totais | 789,08 | 4.100 | 6.796 | 8.155 | 9.515 | 10.874 | 5 |

A comparação da potência de iluminação do edifício com o somatório das potências limites para cada sala, mantém a classificação da edificação no nível A. Esse método permite verificar separadamente as DPI dos ambientes, o que, quando houver necessidade, permite interferir diretamente nos sistemas de iluminação com potência elevada, a fim de melhorar o desempenho do sistema.

O não atendimento a um pré-requisito específico: desligamento automático do sistema de salas com áreas superiores a 250m², não interferiu na classificação do requisito sistema de iluminação no nível A, já que todas as salas apresentaram áreas inferiores a 250 m², não sendo necessário este dispositivo de controle.

6.2.3 Análise do Regulamento sob a ótica do projetista

Apenas com a potência prevista em função da área de cada ambiente é suficiente para determinar a DPI. Desta maneira, o cuidado na elaboração e especificação do projeto elétrico e de iluminação deve ser na quantificação desta variável, principalmente para ambientes em que a atividade é a principal, e ainda, em ambientes com área reduzida.

O RTQ-C não verifica fatores de depreciação de luminárias, fator de utilização e cores das superfícies do ambiente. Apenas variáveis, como o índice de ambiente (K) ou o *Room Cavity Ratio* (RCR) do ambiente, podem ser verificadas, se o método das atividades do edifício for o utilizado.

Ao determinar o sistema de iluminação, cabe salientar que a escolha e localização adequada das luminárias e, principalmente, das lâmpadas implicará diretamente na potência consumida pelo sistema de iluminação. Deve-se optar por lâmpadas com uma eficiência maior, ou seja, que com uma potência reduzida obtenha-se um fluxo luminoso adequado e iluminância compatível com a atividade a ser desempenha no ambiente.

O controle da iluminação por desligamento automático deve ser proposto na existência de muitos ambientes com áreas superiores a 250 m², ou nos casos em que, a DPI resultante apresente-se acima, ou até mesmo, próxima dos limites do nível desejado.

A divisão dos circuitos deve ser proposta em função da área e sempre proporcionado o desligamento das fileiras dos circuitos em paralelo as aberturas conforme item 2.4.3.2.

6.3 Sistema de Condicionamento de Ar

6.3.1 Avaliação da aplicabilidade do regulamento sob a ótica do avaliador

O procedimento de classificação quanto ao sistema de condicionamento de ar é de fácil compreensão, simples e objetivo.

Avalia como pré-requisito a localização dos aparelhos no edifício, no que se refere ao sombreamento e a ventilação adequada dos mesmos. Já para determinação da eficiência do sistema é verificada a eficiência de cada aparelho, que deve ser conhecida por duas avaliações, a primeira pelo INMETRO, a segunda através das tabelas da ASHRAE apresentadas no regulamento. O resultado final são as eficiências dos aparelhos ponderados pelas áreas dos ambientes condicionados pelo mesmo.

Entretanto, a dificuldade para verificação do nível de eficiência encontra-se na obtenção dos dados relativos a cada equipamento condicionador de ar individualmente. Considerando que a realidade dos projetos executivos, onde comumente não é apresentado um projeto de climatização, isso dificultaria a avaliação quanto a este sistema. Os aparelhos de ar, em geral não são especificados, muito menos quanto a classificação energética.

Sendo assim, constata-se a necessidade de um projeto de climatização dos ambientes dependentes do sistema artificial, especificando os aparelhos e detalhando a localização e ventilação dos mesmos.

E ainda, no caso de avaliação do edifício já construído, o levantamento das características dos aparelhos depende das condições de acessibilidade tanto internas como externas aos equipamentos. Essas circunstâncias podem inviabilizar a classificação do nível de eficiência do requisito para edifício.

6.3.2 Análise das variáveis utilizadas na determinação do nível de eficiência

Atendendo aos pré-requisitos de localização e ventilação dos aparelhos, o equivalente numérico dependerá exclusivamente da eficiência do aparelho em relação à área do ambiente.

A edificação em estudo não apresenta o sistema de condicionamento de ar. Se fossem considerados e propostos aparelhos de condicionamento de ar nas salas maiores e de maior permanência classificados como A, esses ambientes conseqüentemente seriam classificados como A. O fato de condicionar artificialmente alguns ambientes, independente do seu nível de eficiência, interferirá na classificação final da edificação por apresentar áreas condicionadas e não condicionadas. Esse resultado será discutido na classificação geral da edificação.

É válido salientar que, para os aparelhos de ar condicionado do tipo *split*, onde a unidade externa (condensador) é separada da unidade interna do aparelho, o regulamento não considera a distância entre as unidades. Sabe-se que essa situação diminui a eficiência do sistema.

6.3.3 Análise do Regulamento sob a ótica da prática arquitetônica

Para o projetista propor um sistema de condicionamento de ar eficiente, deve elaborar um projeto de climatização com aparelhos eficientes, de acordo com a avaliação do INMETRO. No caso de necessitar optar por aparelhos com diferentes tipos de eficiência, especificar aparelhos mais eficientes para ambientes com maiores dimensões, em função de a ponderação ser feita pela área.

E, ainda, para ter a classificação máxima de eficiência, atentar para localização do aparelho em local sombreado e ventilado.

6.4 Classificação Geral do nível de eficiência da edificação

6.4.1 Avaliação da aplicabilidade do regulamento sob a ótica do avaliador

A classificação geral da edificação é um procedimento simples, no momento em que já foram determinados os equivalentes numéricos de cada requisito.

No entanto, além dos equivalentes numéricos definidos para cada requisito, no caso da edificação ser naturalmente ventilada ou possuir ambientes de longa permanência não condicionados é necessário calcular o EqNumV. Este equivalente só pode ser definido por simulação, o que dificulta consideravelmente a aplicação do método, já que para a realização da simulação é necessário o conhecimento de programas de computador específicos para esse cálculo. No caso da não realização da simulação, o EqNumV será o mínimo, mesmo que exista uma preocupação no projeto com a ventilação natural e as demais variáveis que contribuem para as trocas térmicas da edificação com o meio, em função da impossibilidade de comprovar o percentual de horas ocupadas em conforto por meios de equações ou de um projeto detalhado de ventilação natural.

O lançamento dos valores dos equivalentes numéricos resultantes das classificações parciais, das áreas úteis, das áreas condicionadas e não condicionadas, na equação geral (equação 2.1), determinam, em função dos pesos de cada requisito, o nível de eficiência energética da edificação como um todo.

Os edifícios, que apresentam iniciativas que visam aumentar sua eficiência podem vir a acrescentar até um ponto à pontuação total obtida, correspondente à variável bonificação. Essa variável é lançada diretamente na equação, somando-se aos resultados das classificações parciais.

6.4.2 Análise das variáveis utilizadas na determinação do nível de eficiência

O resultado da pontuação total (PT), que determinou o nível D para a classificação da eficiência energética do edifício em estudo, 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, ainda, foi verificado o nível de eficiência na situação de condicionamento artificial dos ambientes da edificação. Essas variações foram aplicadas em distintos cenários e apresentadas em gráficos.

- Ambientes não condicionados

A criação dos cenários para o EqNumV na situação de não condicionamento dos ambientes, partiu da análise da equação 2.1. Observa-se que, nesta situação, a área de piso dos ambientes condicionados (AC) é nula, isso anula o EqNumEnv e o EqNumCA. Logo a Pontuação da classificação geral da edificação dependerá exclusivamente do EqNumV e do EqNumDPI.

Essa observação permite concluir que, em edificações onde é proposto apenas ventilação natural na edificação, as variáveis que determinam o EqNumEnv como os fechamentos opacos e transparentes utilizados, os percentuais de abertura de fachada e os ângulos de sombreamento não são considerados. Sendo assim, pressupõe-se que, como o valor do EqNumV depende da comprovação por simulação, esta deverá envolver essas variáveis, a fim de considerar a envelope.

Na figura 6.9 verifica-se o crescimento da pontuação somente em função do EqNumV. No caso de simular a edificação, podendo comprovar as horas ocupadas de conforto, é possível a edificação ter classificação A.

É válido salientar que o valor mínimo para o EqNumEnv neste momento não interfere no resultado. Por outro lado, pode-se concluir que as variáveis as quais reduziram esse valor, possivelmente façam parte da simulação, o que dificultaria a obtenção de um EqNumV elevado, já que o nível mínimo atingido para envoltória foi principalmente em função das características dos fechamentos opacos.

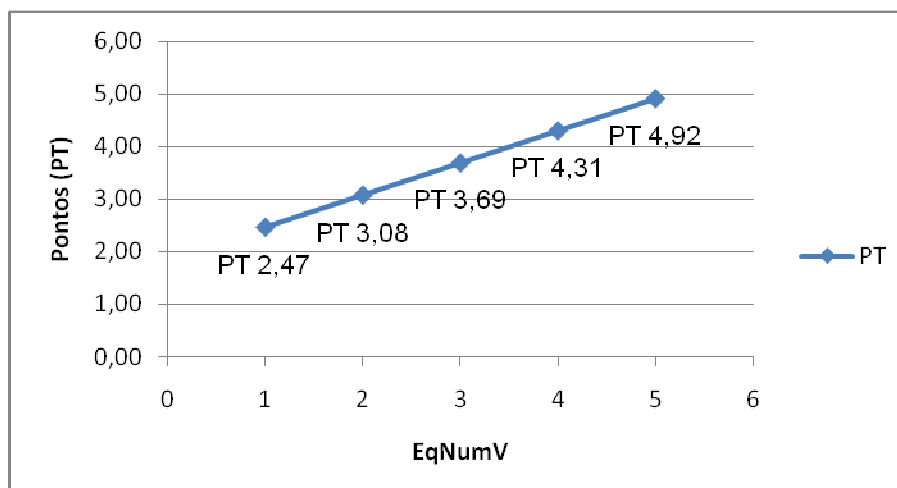


Figura 6.9 – Pontuação (PT) em função do EqNumV para ambientes não condicionados

Embora o sistema de iluminação tenha obtido classificação A, é válido apresentar o resultado da pontuação final alterando-se o valor do EqNumDPI para cada EqNumV. Na figura 6.10, mostra essa variação e permite analisar que um sistema de iluminação ineficiente interfere na pontuação final. Nesse sentido destaca-se a variação do EqNumDPI para o EqNumV máximo, reduzindo a classificação geral da edificação para EqNumDPI inferiores a 3.

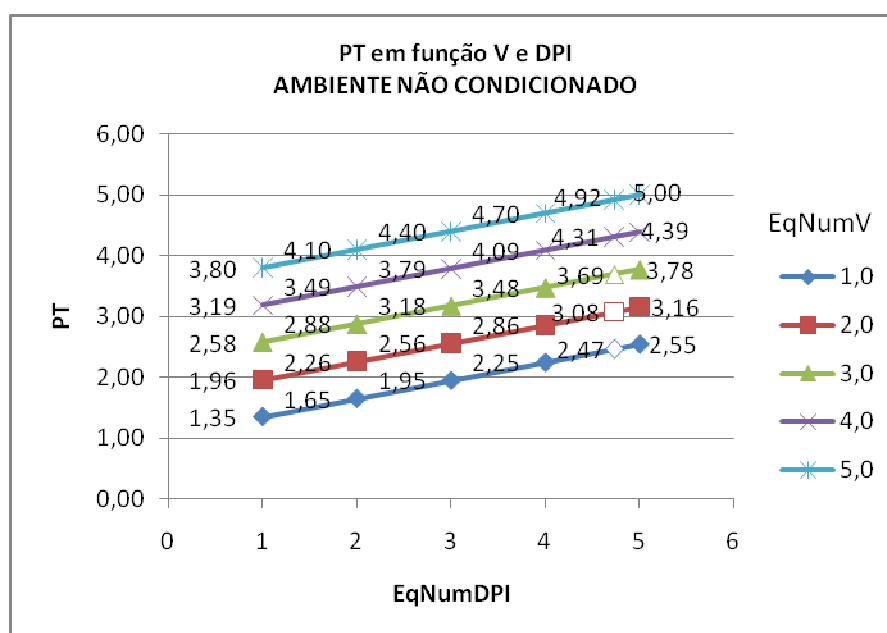


Figura 6.10 – Pontuação (PT) em função do EqNumV e EqNumDPI para ambientes não condicionados

- Ambientes condicionados artificialmente

A verificação da classificação da edificação, no caso de condicionar artificialmente os ambientes da edificação, foi feita a partir da análise da equação 2.1. e da variação dos valores dos equivalentes numéricos para cada área de ambiente condicionado (Figuras 6.11 e 6.12).

A observação da equação 2.1 permite verificar que, se todos os ambientes apresentarem condicionamento artificial, as áreas de piso dos ambientes não condicionados (APT e ANC) são nulas, isso anula o EqNumV. Conseqüentemente, a pontuação da classificação geral da edificação dependerá dos valores do EqNumEnv, EqNumDPI e EqNumCA.

Ainda neste contexto, se todos os ambientes com permanência prolongada possuírem condicionamento artificial (AC), e os ambientes de permanência transitória não forem condicionados (APT), a área de piso dos ambientes não condicionados (ANC) é nula, isso também anula o EqNumV. Logo a pontuação da classificação geral da edificação dependerá dos EqNumEnv, EqNumDPI e do EqNumCA e da área dos ambientes não condicionados de permanência transitória.

Na Figura 6.11 são apresentadas as pontuações em função da variação do EqNumEnv para cada EqNumCA. As linhas na tonalidade azul consideram que todo edifício seria condicionado, já as linhas na tonalidade em vermelho correspondem ao condicionamento somente dos ambientes de permanência prolongada.

A análise da Figura 6.11 permite destacar que o não condicionamento de áreas de permanência transitória contribui para o aumento da pontuação. Há coerência nesse resultado, pois se presume que o condicionamento de ambientes de ocupação transitória não é necessário, ou seja, não condicionar estes ambientes, de certa forma, é uma contribuição para eficiência da edificação.

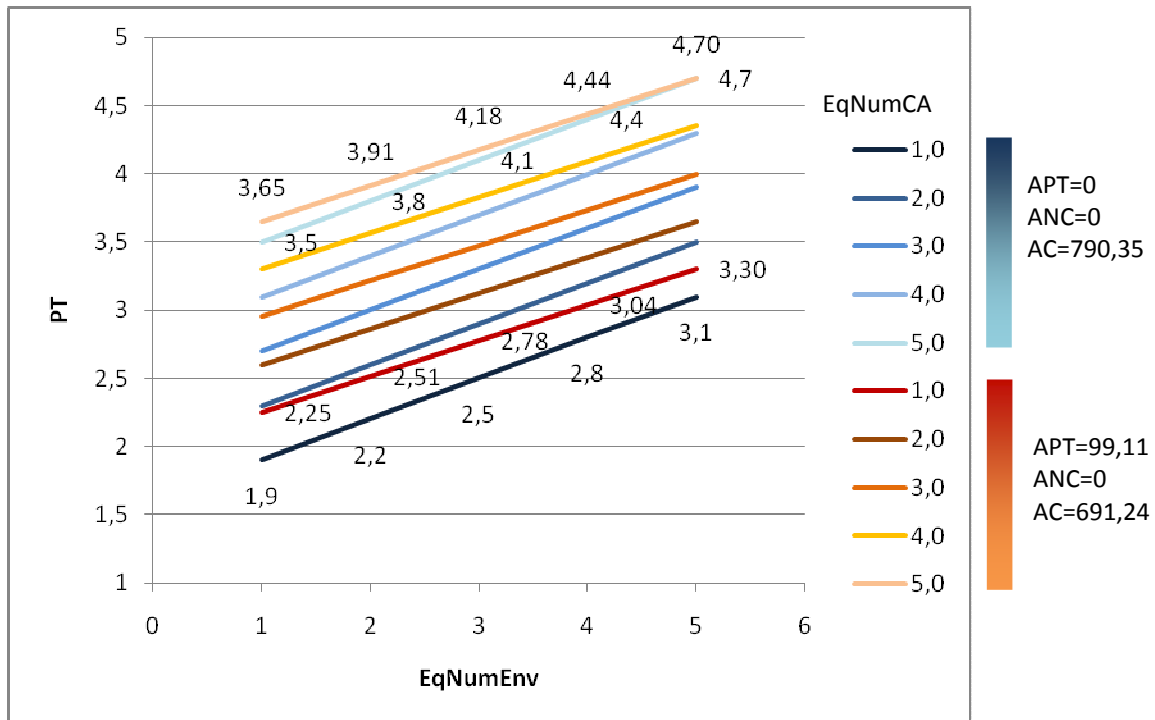


Figura 6.11 – Pontuação (PT) em função EqNumEnv e EqNumCA para ambientes condicionados

Por outro enfoque, analisando o gráfico em função das áreas condicionadas, o aumento do EqNumEnv, ao condicionar toda edificação, resulta em uma variação maior da pontuação (1,20) comparado a situação do não condicionamento de ambiente de ocupação transitória (1,06). Já se aumentar o EqNumCA na situação de condicionamento total, há uma variação da pontuação de 1,60, maior que na outra situação em que varia 1,4. Sendo assim, ao condicionar todos ambientes, tanto o EqNumEnv como o EqNumCA interferem consideravelmente na classificação final.

A observação anterior justifica a situação na qual à medida que aumentam os equivalentes da envoltória e do condicionamento de ar, a diferença da pontuação entre as áreas não condicionadas tende a diminuir, até tornar-se igual.

Da mesma forma que foi exposto na figura anterior, na Figura 6.12 as linhas na tonalidade azul consideram que todo edifício seria condicionado, já as linhas na tonalidade em vermelho correspondem ao condicionamento somente dos ambientes de permanência prolongada, porém a pontuação é em função da variação do EqNumDPI para cada EqNumCA.

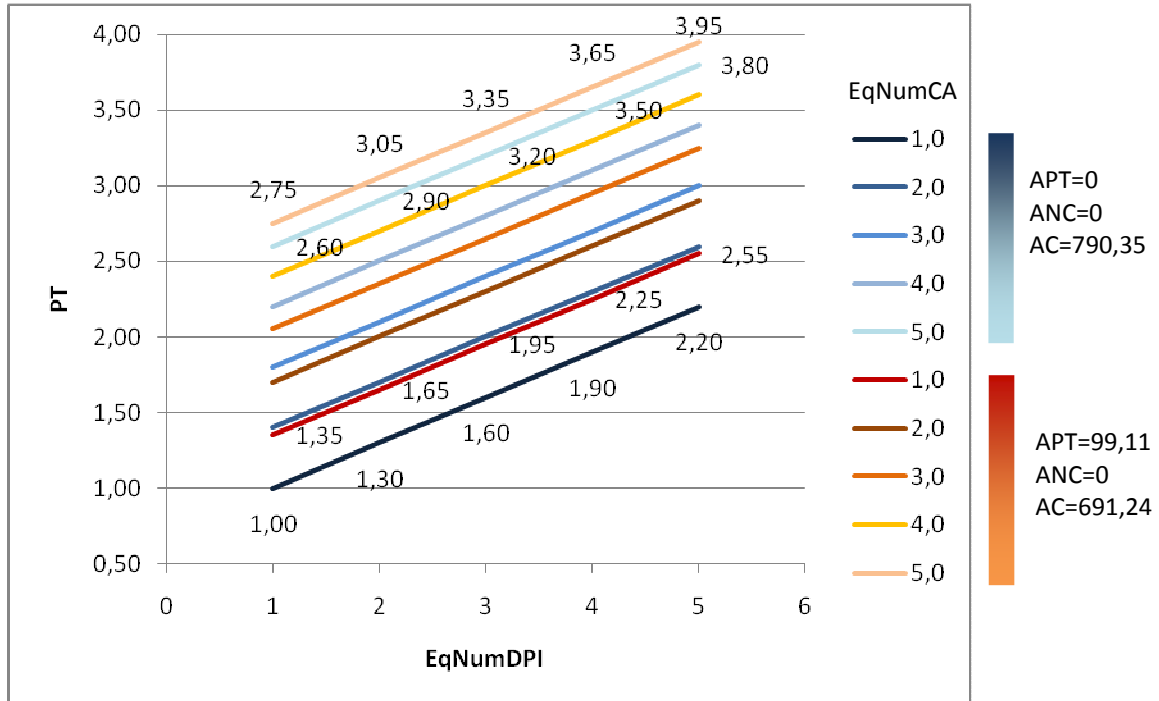


Figura 6.12 – Pontuação (PT) em função EqNumDPI e EqNumCA para ambientes condicionados

Neste caso, como o sistema de iluminação independe do condicionamento ser para todos os ambientes ou somente para os de permanência prolongada, percebe-se que a variação da PT para cada EqNumCA é constante em ambas as situações (1,20).

Entretanto, como já inferido da figura anterior, a diferenciação na pontuação final para cada área ocorre pelo fato do não condicionamento dos ambientes de ocupação transitória, o qual melhora a classificação da edificação. Neste caso, a pontuação apresenta uma variação de 1,40 à medida que se aumenta o EqNumCA e mantém a classificação da edificação sempre acima dos resultados obtidos para o condicionamento de todos os ambientes. Nesta última situação a pontuação apresentou uma variação maior em função do EqNumCA (1,60), o que demonstra o peso deste equivalente no caso do condicionamento de todos os ambientes independente da ocupação.

A comparação dos resultados da pontuação nas figuras 6.11 e 6.12, permite concluir que, nesta edificação, o aumento do EqNumEnv resulta numa classificação melhor em relação ao mesmo aumento do EqNumDPI.

Finalmente, apresenta-se a variação da pontuação para os equivalentes dos três requisitos envoltória, densidade de potência instalada de iluminação e condicionamento de ar, em função de condicionar total, parcialmente ou não condicionar os ambientes.

Na Figura 6.13 a pontuação apresentada é em função dos EqNumEnv. A linha azul, correspondente a situação de a edificação possuir todos os ambientes naturalmente ventilados, apresenta-se constante, tal resultado decorre da área condicionada ser zero, anulando o EqNumEnv, fato que torna a pontuação final invariável. A situação do não condicionamento das áreas transitórias confirma a análise das figuras anteriores, no sentido de que melhora a classificação final da edificação.

A pontuação obtida para o EqNumCA (Figura 6.14) também não varia quando os ambientes da edificação são ventilados naturalmente, em função da anulação do EqNumCA proporcionada pela inexistência de área condicionada. Corroborar-se novamente o aumento da pontuação ao não condicionar os ambientes de permanência transitória.

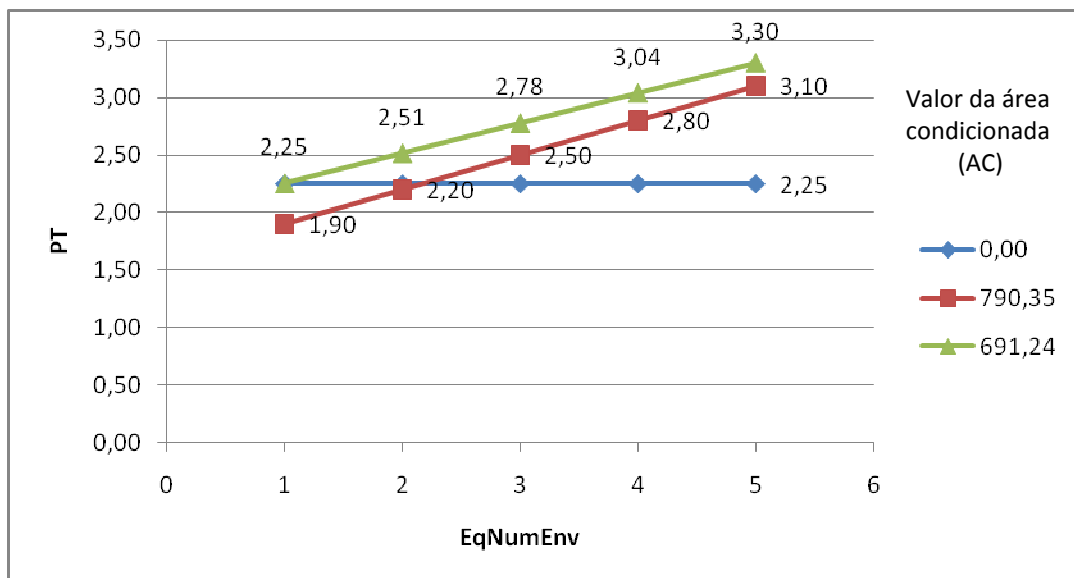


Figura 6.13 – Pontuação (PT) em função EqNumEnv e AC para diferentes áreas condicionadas

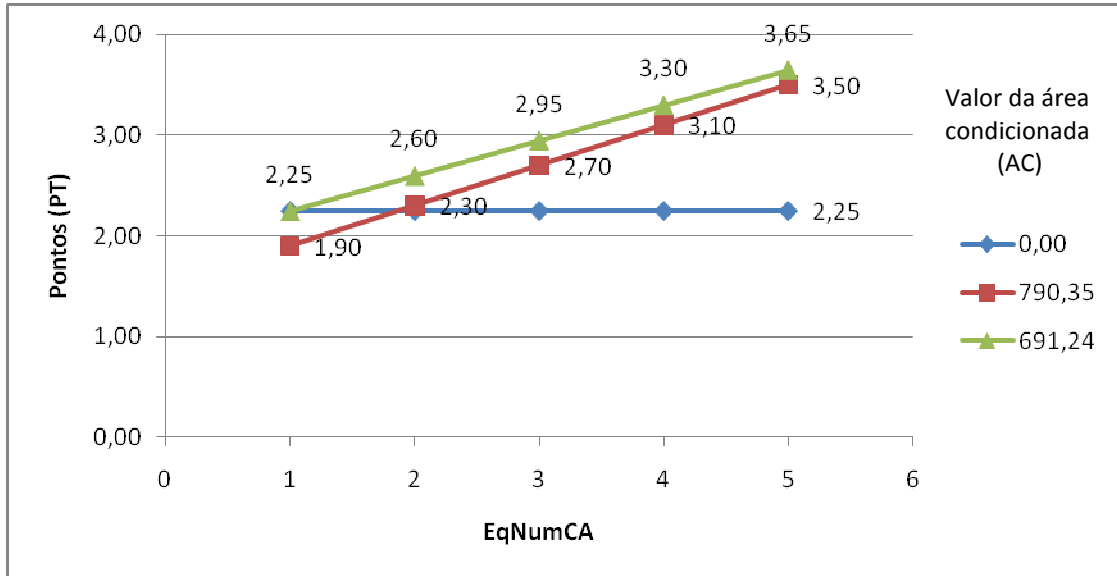


Figura 6.14 – Pontuação (PT) em função EqNumDPI e AC para diferentes áreas condicionadas

Ainda referente à Figura 6.14, ao condicionar todos ambientes, o EqNumCA apresenta uma variação maior da pontuação à medida que se eleva o seu valor, fato que explica a diferença entre as pontuações iniciais e finais para o condicionamento parcial e total dos ambientes.

Na Figura 6.15 observa-se a variação da pontuação final em função do EqNumDPI para as diferentes áreas condicionadas. Como já analisado anteriormente, este equivalente independe do condicionamento dos ambientes. A variação da pontuação, entre as diferentes áreas, ocorre em função do condicionamento dos ambientes de permanência transitória, o qual interfere negativamente na eficiência da edificação. Sendo assim, quando as áreas transitórias são naturalmente ventiladas, a pontuação depende exclusivamente do valor do EqNumDPI, caso contrário, a pontuação é reduzida, verificado na linha vermelha, quando a área condicionada corresponde a área total dos ambientes da edificação.

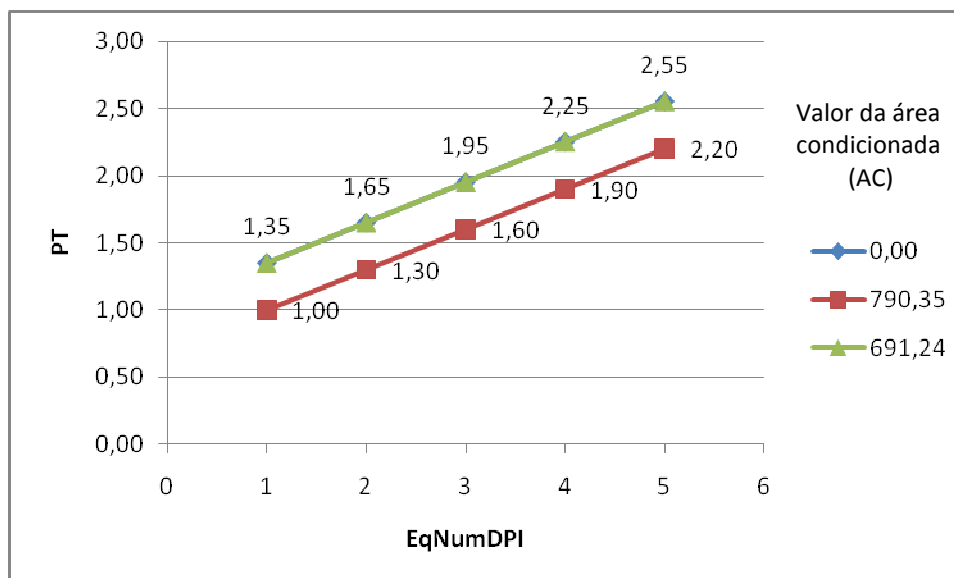


Figura 6.15 – Pontuação (PT) em função EqNumDPI e AC para diferentes áreas condicionadas

6.4.3 Análise do Regulamento sob a ótica da prática arquitetônica

Os projetos de arquitetura para obterem uma classificação final satisfatória devem inicialmente considerar a maneira de condicionamento dos ambientes, se natural ou artificial.

As análises das variáveis anteriores permitem afirmar que, quando se pretende ventilar somente naturalmente um edifício, a classificação, neste caso, dependerá do EqNumDPI e do EqNumV. Este último equivalente, obrigatoriamente, deve ser comprovado, através de simulação, o percentual de horas ocupadas de conforto (POC). No caso de não haver a possibilidade desta comprovação a classificação da eficiência poderá ficar comprometida, mesmo que se apresente uma boa estratégia de ventilação natural.

No caso de condicionar os ambientes, a classificação dependerá dos EqNumEnv, EqNumDPI e do EqNumCA. O não condicionamento dos ambientes de ocupação transitória contribuirá para uma melhor eficiência da edificação.

Outra maneira de aumentar a classificação são iniciativas de sustentabilidade, refletidas nas bonificações. A pontuação obtida na bonificação determina a necessidade de justificativas e da comprovação de sua real contribuição. Interfere, portanto, na simples aplicação direta dos resultados das classificações parciais.

Contudo, na prática, a classificação da qualidade para o nível de eficiência energética da edificação só será válido se forem atendidos os pré-requisitos gerais. Sendo assim, deve-se propor circuito elétrico com possibilidade de medição centralizada por uso final, isso permitirá a classificação no nível A ou B. Cabe observar que a individualização dos circuitos, implicará em um aumento do custo inicial, considerando que o cabeamento que fornecerá energia ao sistema de iluminação deve ser totalmente independente daquele fornecedor de energia para o ar condicionado e os demais equipamentos.

Ainda, no caso de propor aquecimento de água, para se passível de classificação no nível A, deve-se comprovar que 100% da demanda de água quente será atendida por sistema de aquecimento solar, aquecedores a gás do tipo instantâneo, bombas de calor ou caldeiras, conforme especificações tabela 2.8.

Por fim, um requisito que merece atenção são os elevadores, pois a correta especificação permitirá a classificação nos níveis A ou B, de acordo com as orientações apresentadas na tabela 2.9.

7 CONCLUSÕES

O estudo de caso do edifício que abrigará o Centro de Convivência para Idosos no município de Dr. Maurício Cardoso, RS, possibilitou a familiarização e o conhecimento detalhado do método prescritivo estabelecido nos Requisitos Técnicos da Qualidade para Etiquetagem do Nível de Eficiência Energética (RTQ-C). Este trabalho apresentou os resultados e as discussões da avaliação do nível de eficiência energética deste projeto.

7.1 Aplicabilidade do regulamento sob a ótica do avaliador

O regulamento exige um estudo minucioso para o real entendimento do método prescritivo. Algumas definições apresentam-se em uma primeira leitura de difícil compreensão, como a quantificação das áreas, volumes e ângulos de sombreamento. O manual, volume quatro das publicações do regulamento, é essencial para aplicação e entendimento do RTQ-C.

O regulamento não abrange todas as soluções possíveis de existir em um edifício. Desta forma, 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. Dependendo da geometria do edifício, alguns dados não têm clareza de como serão utilizados, o caso da tipologia do telhado do objeto de estudo deste trabalho, a qual gerou alguma dificuldade de como considerá-la.

Por outro lado, como se trata de um regulamento baseado em um estudo de um grupo de tipologias de edificações comumente apresentadas nas cidades brasileiras, justifica-se o fato de não poder ser aplicável em alguns aspectos, ou não conter as especificações necessárias para obtenção de dados. Neste caso optar pela simulação é o melhor alternativa.

No que se refere à obtenção dos dados, a classificação do edifício, proposta pelo regulamento, exige informações detalhadas e organizadas das características construtivas e dimensionais da envoltória em sua totalidade. Tal fato poderá

prejudicar o trabalho e aumentar o tempo de aplicação, em função da necessidade de organização desses dados

O conhecimento do avaliador, em função dos requisitos verificados na classificação, exige a especialização e qualificação a cerca dos parâmetros adotados no regulamento para aplicação da metodologia, principalmente, no que tange à simulação. Os programas ainda apresentam-se complexos e de pouca difusão, e no que se refere aos edifícios condicionados naturalmente, a simulação é uma condição imprescindível para classificação, a fim de não desqualificar o EqNumV.

7.2 Variáveis utilizadas na determinação do nível de eficiência

Os pré-requisitos possuem a mesma representatividade na determinação do nível de eficiência. Em função desta observação, é importante ponderar as variáveis de atendimento aos pré-requisitos, como os fechamentos opacos da envoltória, e em outros casos, a decisões mais simples de projeto, como o controle do sistema de iluminação e posicionamento dos condensadores de ar condicionado. O não atendimento prejudica e, em alguns casos, inviabiliza a classificação energética da edificação.

Analisando os resultados das demais variáveis, pôde-se observar que o percentual de abertura na fachada é a medida de conservação de energia de maior relevância. Quanto maior o percentual de abertura, menor tende a ser o nível de eficiência da envoltória quando nenhuma outra medida construtiva é utilizada para amenizar tal efeito.

As proteções solares aparecem como segundo fator de maior influência na eficiência energética da envoltória. Em geral, quanto mais sombreadas forem as aberturas, maior o nível de eficiência atingido. Entretanto, no caso da zona bioclimática 2, a eficiência para até aproximadamente 50% de abertura de fachada, diminui com a colocação de proteções solares verticais. Acima desse percentual, percebe-se que o indicador de consumo tende a diminuir, podendo-se concluir que as proteções verticais para esse edifício só melhorariam a eficiência no caso de serem propostas para um PAF elevado.

Em uma última análise, deve ser ressaltado que o RTQ-C não considera orientação solar de fachadas nas proteções solares, apenas o sombreamento que essa proteção proporcionaria. Considerando esta situação, não se justifica na equação do ICenv um tratamento diferenciado entre os ângulos verticais e horizontais de sombreamento, no sentido de que nos períodos frios a radiação solar é desejável.

Na classificação geral, ambientes não condicionados dependem do sistema de iluminação e do equivalente numérico da ventilação natural, o qual deve ser comprovado por simulação. Os ambientes condicionados também dependem do sistema de iluminação, no entanto a pontuação apresentou uma variação mais expressiva na melhoria da eficiência da envoltória e do sistema de condicionamento de ar. Não condicionar ambientes de permanência transitória, como banheiros e circulações, também contribui para eficiência. Outra maneira de aumentar a classificação são iniciativas de sustentabilidade, refletidas nas bonificações.

7.3 Análise do Regulamento sob a ótica da prática arquitetônica

O Regulamento não foi desenvolvido como uma ferramenta de auxílio à etapa de concepção de projeto, contudo o conhecimento das diversas variáveis envolvidas na classificação dos requisitos pode gerar benefícios ao projeto, contribuindo para a obtenção de níveis mais eficientes de classificação.

Esse conhecimento é indispensável aos profissionais envolvidos no processo, porém, grande parte, ainda não está habituada a trabalhar com tais conceitos, principalmente como variáveis referentes às propriedades térmicas dos materiais. E, ainda nesse argumento, atualmente o banco de dados sobre tais propriedades térmicas apresenta-se limitado a alguns materiais.

Dentro das especificações para projetos eficientes, alguns elementos merecem destaque. Nos fechamentos opacos especificar materiais isolantes para as paredes e principalmente para a cobertura, em função dos limites estabelecidos nos pré-requisitos para as transmitâncias térmicas do conjunto.

A abertura de fachada, principalmente na fachada oeste, deve ser cautelosa e bem estudada. Contrapondo com as proteções solares, que por meio de ângulos

verticais e horizontais de sombreamento (AVS e AHS), interferem na redução no indicador de consumo, independente da fachada em que estão localizadas na maioria dos casos.

No caso dos equipamentos que são analisados no regulamento, atentar para os dispositivos de controle de iluminação, já que a potência, no caso do edifício analisado ficou muito aquém do limite estabelecido. E no sistema de ar condicionado para refrigeração, especificar a localização dos condensadores em locais sombreados e ventilados e propor isolamento adequado dos dutos.

Em suma, no que se refere à prática arquitetônica, em muitos casos, estudos e medidas simples podem implicar uma redução significativa do consumo de energia. A melhoria da eficiência energética da envoltória e a interação da edificação com o meio em que está inserida podem contribuir na redução do uso de iluminação artificial e de sistemas de refrigeração mecânica, responsáveis pela maior parte da energia consumida nos edifícios comerciais.

Nesse sentido, o RTQ-C surge como uma ferramenta para estimular o emprego de técnicas de projeto e estratégias bioclimáticas para a criação de soluções arquitetônicas mais adequadas ao ambiente climático em que estão inseridas. Espera-se que o método regulamentado pelo RTQ-C tende a se disseminar no mercado e a promover a eficiência energética das edificações ao compará-las a um desempenho mínimo obrigatório para cada nível de classificação desejado.

O RTQ-C inegavelmente vem preencher uma lacuna de regulamentação de desempenho energético do setor de edifícios. A experiência internacional comprova que a melhoria da eficiência energética traz benefícios sociais, econômicos e ambientais que vão além da cadeia do setor da construção.

O resultado será uma mudança de paradigma na concepção dos projetos, onde a pauta da sustentabilidade é urgente. As mudanças no processo de projeto, integrando profissionais especializados, as decisões de projetos cruciais serão tomadas no início, logo na implantação e orientação dos edifícios. Isso possibilitará, também, mudanças na aparência da arquitetura, na demanda de materiais e componentes, principalmente para fachadas (envoltória). Em casos específicos, a necessidade de novos materiais e componentes compostos para atender aos novos requisitos. E, considerando todo conhecimento a cerca do assunto, abre-se um novo

nicho de mercado para profissionais de vários tipos: projetistas, produtores, fornecedores, avaliadores e consultores.

O RTQ-C, aliado à utilização das normas de desempenho, contribuirá para redução do consumo de energia sem comprometer o conforto dos usuários. O regulamento, embora com alguns parâmetros passíveis de revisão, é o início de um novo conceito de projetar edifícios no Brasil.

7.4 Recomendações para trabalhos futuros

- Aplicar o RTQ-C à edificação a partir do método de simulação;
- Fazer as medições do desempenho de um edifício etiquetado, considerando o atendimento ao pré-requisito de medição separada por uso final.
- Testar as diferentes proteções solares numa mesma edificação, ou em várias a fim de verificar a real contribuição dos ângulos verticais e horizontais de sombreamento para zona bioclimática 2;
- Estudo de ventilação, que comprove através de equações, os percentuais de horas ocupadas de conforto, comparando aos programas de simulação, a fim que o edifício naturalmente ventilado não dependa exclusivamente da simulação;
- Estudar um peso para os ângulos verticais em função da orientação solar e dos percentuais de abertura de fachada;
- Levantamento e ensaios de materiais disponíveis no mercado quanto às propriedades térmicas, para especificação de projetos eficientes;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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 iretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005c.

Agenda elétrica sustentável 2020. **Estudo de cenários para um setor elétrico brasileiro eficiente, seguro e competitivo.** World Wildlife Fund - WWF- Brasil. Brasília, 2006 . 80 p. : il. ; Série técnica: v.12.

AGUILAR, H.M.C.; PINHO, J.T.; GALHARDO, M.A.B.; SANTOS, F.A.V. **Utilização de sistemas de energia solar ativa e passiva na edificação.** In: Congresso Brasileiro de Energia Solar - CBENS , 1., 2007, Fortaleza. Anais...Fortaleza: ABENS - Associação Brasileira de Energia Solar, 2007.

AKUTSU, M.; VITTORINO, F.; **Proposta de procedimento para avaliação do desempenho térmico de edificações condicionadas e não condicionadas.** [19--].

AKUTSU, M.; VITTORINO, F.; CABALLEIRA, L.F.A. **A influência do comportamento climático na resposta térmica de edificações.** In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 3., 1995, Gramado. **Anais...** Gramado: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1995. p. 323-327.

ALLARD, F. **Natural ventilation in buildings: a design handbook.** London: James & James, 1998.

AMORIM, C.N.D. **"Illuminazione Naturale, Comfort Visivo ed Efficienza Energetica in Edifici Commerciali: Proposte Progettuali e Tecnologiche in contesto di clima Tropicale"**. Tese de Doutorado. Università degli Studi di Roma "La Sapienza". Dezembro 2000.

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.

BITTENCOURT, L. **Uso das Cartas Solares: diretrizes para arquitetos**. Maceió: EDUFAL, 2004.

BRAGANÇA, L. **Avaliação da Sustentabilidade de Edifícios – Metodologia SBTtoolPT**. 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. **Balço Energético Nacional 2010: Ano base 2009: Resultados Preliminares**. Ministério de Minas e Energia (MME). Empresa de Pesquisa Energética – Rio de Janeiro: EPE, 2010a.

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, 2001a.

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

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

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Mapa de Relevos de Unidades do Brasil**. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão/IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2002b. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Acesso em: 02 fev. 2010.

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

BRASIL. **Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica: 2008-2017**. Ministério de Minas e Energia (MME); colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME: EPE, 2009a. 435 p.

BRASIL. Instituto de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – Parte 4: Manual para aplicação dos Regulamentos: RTQ-C e RAC-C**. Brasil, 2009b.

BRASIL. Instituto de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – Parte 2: RTQ-C**. Brasil, 2009c.

BRASIL. Instituto de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Requisitos Técnicos da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RTQ-C**. Brasil, 2010b.

CARLO, J. C. **Desempenho Térmico De Edificações**. Apostila disciplina: ECV 5161 – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

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

CLÍMACO, R; AMORIM, C. **Unidade 1- Princípios Bioclimáticos da Arquitetura e do Urbanismo**. Brasília: UNB, 2008. Plano de Curso, UNB, 2008.

Comitê Gestor de Indicadores de Níveis de Eficiência Energética – CGIEE. **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Florianópolis: Jun. 2009. (Apresentação de slides).

COSTA, E. C. **Física Aplicada à Construção**. 4.ed. São Paulo: Edgar Blücher, 2003. 263 p.

CUNHA, E.G.; SILVA, A. C. S. B. **Projeto Eficiente**. In: Seminário de Qualidade em Edificações, 1. Santa Maria: Nov. 2010. (Apresentação de slides).

DORNELLES, K.; RORIZ, M. **Identificação da absortância solar de superfícies opacas por meio de espectrômetros de baixo custo.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2006. p. 314-323.

DOUTOR MAURÍCIO CARDOSO. Prefeitura Municipal. **Dados do município.** Disponível em: <<http://www.pdrmcad.com.br/>>. Acesso em: 06 fev. 2010.

DOUTOR MAURÍCIO CARDOSO. Prefeitura Municipal. Secretaria de Planejamento. **Mapa zona urbana do município.** Disponível em: <<http://www.pdrmcad.com.br/>>. Acesso em: 06 fev. 2010.

DOUTOR MAURÍCIO CARDOSO, [s.d.]a. **Diagnóstico Local de Saúde Doutor Maurício Cardoso, Porto Alegre 2008.**

DUARTE, D ; SERRA, G . **Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental brasileira. Correlações e proposta de um indicador.** Ambiente Construído (Online), Porto Alegre, v. 3, n. n. 2, p. 7-20, 2003.

EU. UNIÃO EUROPÉIA. **Plano de Ação para a Eficiência Energética: 2007 – 2012.** Disponível em: <http://europa.eu/legislation_summaries/energy/energy_efficiency>. Acesso em: 20 jul. 2010.

FEE. Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser. **FEE Dados.** 2001- 2004. Disponível em: <http://www.fee.rs.gov.br/feedados/consulta/sel_modulo_pesquisa.asp>. Acesso em: 21 fev. 2010.

FROTA, A. B.; SCHISSER, S. R. **Manual do conforto térmico.** São Paulo: Studio Nobel, 1995.

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

GIVONI, B. **Man, climate and architecture.** Elseiver, London, 1976.

GOULART, S. **Sustentabilidade nas Edificações e no Espaço Urbano**. Apostila - Disciplina Desempenho Térmico de Edificações - ECV5161, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

GOULART, S. **Certificação de Edifícios**. 2009. (Apresentação de slides)

GUARESCHI, Maristela. **Desempenho Térmico de Edificações Desportivas na Cidade de Santa Maria**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

HARA, A. H. **Adaptação às condições de iluminação natural: uma investigação da atitude do usuário sobre a iluminação artificial em salas de aula**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). 2006. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

KLÜSENER, C. S. **Aplicação do Regulamento para Etiquetagem do Nível de eficiência Energética de Edifícios: o Caso do Centro de Tecnologia da UFSM**. Santa Maria: UFSM, 2009. (Dissertação de mestrado)

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. (1997). **Eficiência energética na arquitetura**. 2 ed. São Paulo: ProLivros, 2004. 192p.

LAMBERTS, R.; MATOS, M.; Westphal, F.; **SCARDUELLI, F.A. Análise do desempenho térmico de edificações residenciais através de simulação computacional no Energyplus baseada nos requisitos da norma NBR 15220**. In: Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, 11., 2006, Florianópolis-SC.

LAMBERTS, R.; Goulart, S.; CARLO, J. C.; Westphal, F.; PONTES, R.O. **Regulamentação de Etiquetagem Voluntária de Nível De Eficiência Energética de Edifícios Comerciais e Públicos**. In: Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 9., 2007, Ouro Preto. Disponível em: <<http://www.ufpel.edu.br/faurb/prograu/documentos/artigo2-tecnologia.pdf>>. Acesso em: 18 de jan. 2010.

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

LEMOS, Carlos. **História da Casa Brasileira**. [s.l.]:Contexto, 1996. 83p.

LESLIE, R. P. **Capturing the daylight dividend in buildings: why and how?**. *Building and Environment*. New York, 2003. n.38. P. 381-385.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia do trabalho científico: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos**. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2001.

MEIRIÑO, J.M. **Arquitetura e sustentabilidade**. *Arquitextos*, 2004. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/04.047/595>>. Acesso em: 04 jul. 2010.

OSRAM. Manual Luminotécnico prático. 2007. Disponível em:<<http://osram.com.br>>. 29 p.

PÉREN, J. I. M. **Ventilação e iluminação naturais na obra de João Figueiras Lima “Lelé”:** estudo dos hospitais da rede Sarah Kubitschek Fortaleza e Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). 2006. Universidade de São Carlos, São Carlos, 2006.

PINTO, R. A. **Projeto e Implementação de lâmpadas para iluminação de interiores empregando diodos emissores de luz (LEDs)**. Santa Maria: UFSM, 2008. (Dissertação de mestrado)

PROCEL INFO. **Eletrobras e INMETRO lançam etiqueta de eficiência energética residencial**. 29 Nov. 2010. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br>. Acesso em 30/11/10.

RAMOS, G.; LAMBERTS, R. **RELATÓRIO TÉCNICO DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DO RTQ-C**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: 2010.

REVISTA PROJETODESIGN. *ArcoWeb*, Edição 250, dez. 2000. Disponível em: <http://www.arcoweb.com.br/arquitetura/hospitais-anos-90-08-02-2001.html>. Acesso em 18 ago. 2010.

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

RORIZ, M. **Conforto e desempenho térmico de edificações**. Apostila da Disciplina de Pós-Graduação em Construção Civil - Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2008.

RORIZ, M; GHISI, E; LAMBERTS, R. **Uma proposta de norma técnica sobre o desempenho térmico de habitações populares.** In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., 1999. Fortaleza. Anais... Fortaleza: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1999.

ROSADO, C.; PIZZUTTI, J.L. **Influência das cores no conforto térmico-lumínico e na redução do consumo de energia nas edificações.** In: Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, 4, ENCAC, Salvador-BA. ANTAC, 1997.

SANTANA, M.V.; GHISI, E. **Influência de parâmetros construtivos relacionados ao envelope no consumo de energia em edifícios de escritório da cidade de Florianópolis.** In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2009. Natal. Anais... Natal: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2009.

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

SCHMID, A. L. **Bollnow e a crítica ao conforto ambiental.** Portal Vitruvius, Arqtextos, 088.03, setembro, 2007. Disponível em <http://www.vitruvius.com.br/arqtextos/arq088/arq088_03.asp> acesso em: 27 mai. 2008.

SHALDERS NETO, A. **Regulamentação de Desempenho Térmico e Energético de Edificações.** São Paulo: USP, 2003. (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, H. C.; KINSEL, L. S. Região Climática de Porto Alegre: revisão climática para um desenho inteligente e uma arquitetura adequada. **Revista ARQtexto**, Porto Alegre: PROPAR, n. 9, p. 124-132, jan./jun. 2007.

SOUZA, L. C.L. **Avaliação das Condições Térmicas de um Protótipo em Argamassa Armada na Cidade de São Carlos - SP.** In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1., 1990, Gramado. **Anais...** Gramado: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1990. p. 37-40.

TURIK, Nelson. **Exigências de desempenho higrotérmico da envolvente de habitações populares térreas**. Brasil - Porto Alegre, RS. 1991. p. 109-113. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 1º, Gramado, 1990. Artigo técnico.

TURIK, N. **Estabelecimento de exigências de Desempenho Higrotérmico da Envolvente de Habitações Populares Térreas: Estudo Aplicado a Casa-COHAB Tipo RS 16-I.3-42**. Porto Alegre: CIENTEC, 1988. (Dissertação de mestrado)

WEBER, C.P. **O Uso do Brise-soleil na Arquitetura da Região Central do Rio Grande do Sul**. 2005. 185f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.