

FABIANO KIYOSHI MORI

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA
ENVOLTÓRIA DE UM PROJETO PADRÃO DE
UMA AGÊNCIA BANCÁRIA EM DIFERENTES
ZONAS BIOCLIMÁTICAS BRASILEIRAS**

DISSERTAÇÃO

**CURITIBA
2012**

FABIANO KIYOSHI MORI

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA
ENVOLTÓRIA DE UM PROJETO PADRÃO DE
UMA AGÊNCIA BANCÁRIA EM DIFERENTES
ZONAS BIOCLIMÁTICAS BRASILEIRAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil – Área de Concentração Meio Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Leite Krüger

**CURITIBA
2012**

TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação nº 17

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA DE UM PROJETO PADRÃO DE UMA AGÊNCIA BANCÁRIA EM DIFERENTES ZONAS BIOCLIMÁTICAS BRASILEIRAS

por

FABIANO KIYOSHI MORI

Esta dissertação foi apresentada às 14h do dia 23 de março de 2012 como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL, Área de Meio Ambiente, Linha de Pesquisa Sustentabilidade e Recursos Hídricos, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Campus Curitiba. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Eduardo L. Krüger. - Orientador
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Augusto de Paula Xavier
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof^ª. Dr^ª. Louise Land Bittencourt Lomardo
Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. Rodrigo Eduardo Catai – Coordenador do PPGEC
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Programa

Curitiba, 23 de Março de 2012

AGRADECIMENTOS

Ao professor Eduardo Krüger, pela confiança e pelas orientações acadêmicas e pessoais.

Aos professores Antonio Augusto de Paula Xavier e Louise Land Bittencourt Lomardo, por aceitarem participar da banca e pelas valiosas contribuições e sugestões.

Ao Eng^o Claudio Petri, pela indicação para participar do grupo de trabalho de eficiência energética em edificações na instituição bancária.

Aos colegas da GILOG/CT, GELOG e GEINF, pelo incentivo e apoio técnico.

Ao pessoal do LabEEE da UFSC – Joyce, Greici, Martin - sempre respondendo às dúvidas sobre o RTQ-C.

Ao pessoal do GT do Programa de Eficiência Energética da Copel - Jamilton, Ana Maria, Pedro Augusto, Schorr, Walfredo, Novak, Ronoel, Sirlene e outros amigos que sempre incentivaram a disseminação dos conceitos de eficiência energética, inclusive como forma de desenvolvimento sustentável da sociedade.

A todos os meus professores, desde os que me acompanharam na pré-escola até os doutores da pós-graduação.

Aos meus pais, meus verdadeiros mestres.

*“Cada problema que resolvi tornou-se uma regra,
que depois serviu para resolver outros problemas.”*

(René Descartes)

RESUMO

Organizações públicas ou privadas que possuem atuação em todo o território nacional têm adotado projetos padronizados de suas edificações, desenvolvidos especificamente para atender a questões técnicas e econômicas de sua rede de atendimento, tais como escolas, agências de serviços públicos, postos de saúde e lojas de redes varejistas. As edificações são construídas por meio da repetição do mesmo projeto padrão em diferentes localidades que, muitas vezes, não consideram as características bioclimáticas regionais. O trabalho analisou e classificou o desempenho energético da envoltória do projeto padrão de uma agência bancária por meio de parâmetros do Método Prescritivo do RTQ-C, em diferentes zonas bioclimáticas brasileiras. Nas situações em que o edifício apresentou oportunidades de melhoria (quando não foi atingida a classificação com o Nível A), foram testadas estratégias bioclimáticas em relação às aberturas envidraçadas, tais como sombreamentos (AVS e AHS) e alteração do fator solar (FS) dos vidros. Para avaliação do potencial de economia de energia elétrica do sistema de ar condicionado com as alterações propostas, foi realizada a simulação computacional com o programa EnergyPlus, considerando o projeto padrão e o projeto com as alterações propostas. Em apenas 6 situações verificou-se que a envoltória do projeto padrão original não atingiu o Nível A. Para essas situações, foram testados valores de AVS, AHS e FS nas equações do Método Prescritivo para obtenção de um valor do índice de consumo da envoltória (ICEnv) abaixo do valor limite para classificação com o Nível A. Para o projeto padrão implantado na Zona Bioclimática ZB-1 com orientação da fachada principal para Oeste, o valor de ICEnv para o Nível A somente é atingido com a retirada de todas as proteções de sombreamento verticais (redução de AHS), aumento do FS médio dos vidros e aumento da largura da marquise sobre a entrada da agência (aumento do AVS). Essa proposta de alteração do projeto foi simulada para o município de Curitiba/PR, apresentando um potencial de economia de energia elétrica de 25,97% em relação ao projeto original. Para o projeto padrão implantando nas Zonas Bioclimáticas ZB-4 e ZB-5 com orientação da fachada principal para Oeste, a única alternativa viável de acordo com as equações do Método Prescritivo é reduzir o valor do FS médio dos vidros. No caso do município de Brasília/DF (localizado na ZB-4), a simulação mostrou uma economia de até 30,53% em relação ao projeto original. Não foram feitas simulações do projeto otimizado para a ZB-5, devido à falta de arquivos com dados climáticos para municípios localizados nesse zoneamento. O projeto original também não atingiu o Nível A quando implantando na Zona Bioclimática ZB-7 com orientações da fachada principal para o Norte, Leste e Sul. As alterações dos valores na equação do Método Prescritivo para a ZB-7 indicaram três possibilidades para melhoria do projeto original (aumentar o valor médio do FS, aumentar o AVS ou reduzir o AHS). As simulações computacionais para validação das equações da ZB-7 foram feitas para o município de Cuiabá/MT. No caso da alteração do FS, a simulação apontou que o potencial de economia é praticamente nulo (0,04 a 0,50%). Com o aumento do AVS, as economias são de 0,68% para a fachada Sul, 2,80% para a fachada Leste e 3,90% para a fachada Norte. Já a redução do valor de AHS não foi confirmada pela simulação, pois houve aumento do consumo de energia de 1,43% para a fachada Norte, 1,74% para a fachada Leste e 3,23% para a fachada Sul.

Palavras-chave: Eficiência Energética em Edificações; Arquitetura Bioclimática; Simulação Termoenergética

ABSTRACT

Some public and private organizations that operate throughout Brazil have standardized their building projects. These projects have been developed to achieve a common approach to the implementation of technical, economic and service networks. Buildings are constructed by repeating the same standard design in different locations often without considering regional bioclimatic conditions. This study analyzed and rated the energy performance of a standard project undertaken by a bank to build new branches using the Prescriptive Method of RTQ-C in different bioclimatic zones in Brazil. In situations where the building presented opportunities for improvement, bioclimatic strategies were tested, such as shading fenestration areas or changing the solar heat gain coefficient (SHGC) of the windows. In order to evaluate the potential of saving electricity, computer simulation software (EnergyPlus) was used. Simulations were run for the original standard design and the optimized design taking into consideration each bioclimatic zone. In only six cases the envelope of the original standard building design did not reach Level A (best) by Prescriptive Method of RTQ-C. For these cases, changes to the shading devices (overhangs and fins) were tested as well as the SHGC of windows. The equations for the Prescriptive Method were recalculated to obtain a value of the envelope's consumption (ICEnv) below the maximum value for classification with Level A. For the original standard building design implemented in Bioclimatic Zone ZB-1 having its main façade to the West, the value of ICEnv for the Level A could only be achieved with the removal of all its windows vertical shading protections (reduced AHS), increasing the SHGC of some windows and increasing the width of the overhang at the entrance of the agency (increased AVS). This proposed amendment was simulated for the city of Curitiba/PR, indicating a potential energy saving of 25.97% over the original project. When the original project was deployed in Bioclimatic Zones ZB-4 and ZB-5 having the main façade to the West, the only viable alternative according to the equations of the Prescriptive Method was to reduce the value of the SHGC of some windows. In the case of the city of Brasilia/DF (located in ZB-4), the simulation showed savings of up to 30.53% when compared to the original standard project. There have been no simulations of the optimized project for the ZB-5 due to lack of climate data files for cities located in that zone. The original project did not attain Level A when deployed in Bioclimatic Zone ZB-7 having the main façade to the North, East and South. Changing values in the equation of Prescriptive Method for the ZB-7 indicated three possibilities for improving original project (increasing the average value of SHGC, increasing AVS or reducing AHS). Computer simulations validating the equations of ZB-7 were made for the city of Cuiabá/MT. With the amendment of the SHGC, the simulation showed that the savings potential is practically nil (0.04 to 0.50%). Increasing AVS gave savings of 0.68% for the Southern façade, 2.80% for the Eastern façade and 3.90% for the Northern façade. The reduction of AHS has not been confirmed by the simulation, due to there being an increase in energy consumption of 1.43% for the Northern façade, 1.74% for the Eastern façade and 3.23% for the Southern façade.

Key-words: Energy Efficiency in Buildings. Bioclimatic Architecture. Energy Simulation Analysis.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	CUSTO TOTAL DE UM EDIFÍCIO COMERCIAL EM 50 ANOS (VIDA ÚTIL DE PROJETO)	20
FIGURA 2 –	USO DE BRISES PARA PROTEÇÃO SOLAR DE ABERTURAS ENVIDRAÇADAS	31
FIGURA 3 –	FACHADA COM UTILIZAÇÃO DE BRISES SUGERINDO RITMO NO PARTIDO ARQUITETÔNICO	32
FIGURA 4 -	MODELOS DE ETIQUETAS PARCIAIS PARA A CERTIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES.....	40
FIGURA 5 -	MODELO DA ETIQUETA GERAL PARA A CERTIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES.....	41
FIGURA 6 -	ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO.....	46
FIGURA 7 –	CARTA BIOCLIMÁTICA ADAPTADA A PARTIR DA SUGERIDA POR GIVONI.....	47
FIGURA 8 –	FLUXOGRAMA DAS ATIVIDADES PARA ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO PROJETO PADRÃO.....	48
FIGURA 9 –	MAQUETE ELETRÔNICA DA FACHADA PRINCIPAL DA AGÊNCIA BANCÁRIA	49
FIGURA 10 –	IMPLANTAÇÃO DO PROJETO PADRÃO DE ACORDO COM A ORIENTAÇÃO SOLAR DA ELEVAÇÃO FRONTAL	50
FIGURA 11 –	SISTEMA CONSTRUTIVO “STEEL FRAME”	55
FIGURA 12 –	DETALHE DAS CAMADAS COMPONENTES DAS PAREDES EXTERNAS.....	56
FIGURA 13 –	TELHA TIPO SANDUÍCHE COM ISOLANTE TÉRMICO	57
FIGURA 14 –	FORRO TIPO FIBRA MINERAL.....	58
FIGURA 15 -	LUMINÁRIA PARA LÂMPADAS T5	60
FIGURA 16 -	PROJETO LUMINOTÉCNICO COM A SETORIZAÇÃO DAS ATIVIDADES.....	61
FIGURA 17 –	ZONAS TÉRMICAS DO PROJETO DE CONDICIONAMENTO DE AR DO PROJETO PADRÃO	66
FIGURA 18 -	ESTRUTURA DO PROGRAMA ENERGYPLUS	71
FIGURA 19 –	FERRAMENTA ATINGIR META DO MICROSOFT EXCEL.....	74
FIGURA 20 –	TELA INICIAL DO PROGRAMA ENERGYPLUS	78
FIGURA 21 –	TELA DE EDIÇÃO DO ARQUIVO IDF DO PROGRAMA ENERGYPLUS.....	79
FIGURA 22 –	TELA DE SIMULAÇÃO DO ENERGYPLUS COM O ARQUIVO CLIMÁTICO.....	79
FIGURA 23 –	VISTA EM 3D DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL – ELEVAÇÕES LATERAL E FRONTAL	81
FIGURA 24 –	VISTA EM 3D DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL – ELEVAÇÕES POSTERIOR E LATERAL.....	82
FIGURA 25 –	VISTA EM 3D DO PROJETO PADRÃO SEM AS PROTEÇÕES SOLARES VERTICAIS E COM A MARQUISE LONGADA DE UMA DAS	

	ABERTURAS ENVIDRAÇADAS DA FACHADA PRINCIPAL – ELEVAÇÕES LATERAL E FRONTAL – ZB-1 – CURITIBA/PR.....	84
FIGURA 26 –	VISTA EM 3D DO PROJETO PADRÃO SEM AS PROTEÇÕES SOLARES VERTICAIS E COM A MARQUISE ALONGADA DE UMA DAS ABERTURAS ENVIDRAÇADAS DA FACHADA PRINCIPAL – ELEVAÇÕES POSTERIOR E LATERAL – ZB-1 – CURITIBA/PR	85
FIGURA 27 –	VISTA EM 3D DO PROJETO PADRÃO, CONSIDERANDO VIDROS DE CONTROLE SOLAR (FS BAIXO) NAS ABERTURAS ENVIDRAÇADAS DA FACHADA PRINCIPAL E NAS 4 JANELAS DO SALÃO DE ATENDIMENTO – ELEVAÇÕES LATERAL E FRONTAL – ZB-4 – BRASÍLIA - DF	87
FIGURA 28 –	VISTA EM 3D DO PROJETO PADRÃO, CONSIDERANDO AUMENTO DO AVS MÉDIO POR MEIO DO AUMENTO DA LARGURA DA MARQUISE DE UMA DAS ABERTURAS ENVIDRAÇADAS DA FACHADA PRINCIPAL – ELEVAÇÕES LATERAL E FRONTAL – ZB-7 – CUIABÁ - MT	89
FIGURA 29 –	VISTA EM 3D DO PROJETO PADRÃO, CONSIDERANDO REDUÇÃO DO AVS MÉDIO POR MEIO DO RETIRADA DE PROTEÇÕES SOLARES VERTICAIS DAS JANELAS DAS ELEVAÇÕES LATERAL E POSTERIOR – ELEVAÇÕES LATERAL E FRONTAL – ZB-7 – CUIABÁ - MT.....	93

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 -	COMPOSIÇÃO SETORIAL DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	27
GRÁFICO 2 -	DISTRIBUIÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA POR USO FINAL EM EDIFÍCIOS COMERCIAIS E PÚBLICOS.....	28
GRÁFICO 3 -	CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA - ILUMINAÇÃO E AR CONDICIONADO - EM DIFERENTES TIPOS DE EDIFÍCIOS COMERCIAIS E DE SERVIÇOS	28
GRÁFICO 4 -	COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE ARCONDICIONADO DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL E DO PROJETO COM AS ALTERAÇÕES PROPOSTAS, CONSIDERANDO A FACHADA PRINCIPAL COM ORIENTAÇÃO SOLAR PARA O OESTE – ZB-1 (CURITIBA/PR)	84
GRÁFICO 5 -	COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE ARCONDICIONADO DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL E DO PROJETO COM AS ALTERAÇÕES PROPOSTAS, CONSIDERANDO A FACHADA PRINCIPAL COM ORIENTAÇÃO SOLAR PARA O OESTE – ZB-4 (BRASÍLIA/DF).....	86
GRÁFICO 6 -	COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE ARCONDICIONADO DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL E DO PROJETO COM A ALTERAÇÃO DO AVS, CONSIDERANDO A FACHADA PRINCIPAL COM ORIENTAÇÃO SOLAR PARA O NORTE – ZB-7 - CUIABÁ/MT	90
GRÁFICO 7 -	COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE ARCONDICIONADO DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL E DO PROJETO COM A ALTERAÇÃO DO AVS, CONSIDERANDO A FACHADA PRINCIPAL COM ORIENTAÇÃO SOLAR PARA O LESTE – ZB-7 - CUIABÁ/MT	91
GRÁFICO 8 -	COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE ARCONDICIONADO DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL E DO PROJETO COM A ALTERAÇÃO DO AVS, CONSIDERANDO A FACHADA PRINCIPAL COM ORIENTAÇÃO SOLAR PARA O SUL – ZB-7 - CUIABÁ/MT.....	92
GRÁFICO 9 -	COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE AR CONDICIONADO DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL E DO PROJETO COM A ALTERAÇÃO DO AHS, CONSIDERANDO A FACHADA PRINCIPAL COM ORIENTAÇÃO SOLAR PARA O NORTE – ZB-7 - CUIABÁ/MT	94
GRÁFICO 10 -	COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE AR CONDICIONADO DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL E DO PROJETO COM A ALTERAÇÃO DO AHS, CONSIDERANDO A FACHADA PRINCIPAL COM ORIENTAÇÃO SOLAR PARA O LESTE – ZB-7 - CUIABÁ/MT	95
GRÁFICO 11 -	COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE AR CONDICIONADO DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL E DO PROJETO COM A ALTERAÇÃO DO AHS, CONSIDERANDO A FACHADA PRINCIPAL COM ORIENTAÇÃO SOLAR PARA O SUL – ZB-7 - CUIABÁ/MT.....	96

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 -	SISTEMAS DE AVALIAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE DESEMPENHO AMBIENTAL OU ENERGÉTICO DE EDIFÍCIOS E PROGRAMAS DE INCENTIVO UTILIZADOS EM DIVERSOS PAÍSES.....	34
QUADRO 2 -	RESUMO DOS PRÉ-REQUISITOS DE TRANSMITÂNCIA TÉRMICA E ABSORTÂNCIA SOLAR PARA A ENVOLTÓRIA DE ACORDO COM NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PRETENDIDO	59
QUADRO 3 -	QUADRO DE CARGAS DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO.....	62
QUADRO 4 -	RESUMO DOS PRÉ-REQUISITOS DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DE ACORDO COM NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PRETENDIDO.....	62
QUADRO 5 -	EQUIPAMENTOS DE AR CONDICIONADO DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL DO PROJETO PADRÃO	67
QUADRO 6 -	MUNICÍPIOS SELECIONADOS PARA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO PROJETO PADRÃO.....	69
QUADRO 7 -	ANÁLISE COMPARATIVA DAS ALTERAÇÕES PROPOSTAS PARA A ENVOLTÓRIA E O POTENCIAL DE REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE AR CONDICIONADO.....	97

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	COMPOSIÇÃO SETORIAL DO CONSUMO DE ELETRICIDADE – EM %	23
TABELA 2 -	PARÂMETROS DO ICMÁXD	42
TABELA 3 -	PARÂMETROS DO ICMÍN.....	42
TABELA 4 -	LIMITES DOS INTERVALOS PARA A CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA	43
TABELA 5 -	EQUIVALENTE NUMÉRICO PARA CADA NÍVEL DE EFICIÊNCIA - EQNUM	44
TABELA 6 -	CLASSIFICAÇÃO GERAL	45
TABELA 7 -	ÁREAS DA EDIFICAÇÃO.....	51
TABELA 8 -	ÁREA CONDICIONADA E ÁREA DE PERMANÊNCIA TRANSITÓRIA EM RELAÇÃO À ÁREA ÚTIL DA EDIFICAÇÃO	52
TABELA 9 -	VOLUME TOTAL DA EDIFICAÇÃO.....	52
TABELA 10 -	ÁREA DAS PAREDES EXTERNAS.....	52
TABELA 11 -	ÁREA DA ENVOLTÓRIA.....	52
TABELA 12 -	FATOR DE FORMA	53
TABELA 13 -	FATOR ALTURA.....	53
TABELA 14 -	PARÂMETROS DAS ABERTURAS ENVIDRAÇADAS	54
TABELA 15 -	PERCENTUAL DE ÁREA DE ABERTURA DAS FACHADAS DE ACORDO COM A ORIENTAÇÃO SOLAR DA ELEVAÇÃO FRONTAL	54
TABELA 16 -	PERCENTUAL DE ÁREA DE ABERTURA DAS FACHADAS A SER UTILIZADO NAS EQUAÇÕES DO ICENV PARA CADA TIPOLOGIA DO PROJETO PADRÃO	55
TABELA 17 -	VALORES UTILIZADOS PARA DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL DAS PAREDES EXTERNAS DO PROJETO PADRÃO	56
TABELA 18 -	VALORES UTILIZADOS PARA DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL DA COBERTURA DO PROJETO PADRÃO.....	58
TABELA 19 -	LIMITE MÁXIMO ACEITÁVEL DE DENSIDADE DE POTÊNCIA DE ILUMINAÇÃO (DPI_L) PARA O NÍVEL DE EFICIÊNCIA PRETENDIDO PELO MÉTODO DA ÁREA DO EDIFÍCIO	64
TABELA 20 -	POTÊNCIA DE ILUMINAÇÃO MÁXIMA PARA O NÍVEL DE EFICIÊNCIA DO PROJETO PADRÃO PELO MÉTODO DA ÁREA DO EDIFÍCIO	64
TABELA 21 -	CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL EM DIFERENTES ZONAS BIOCLIMÁTICAS BRASILEIRAS DE ACORDO COM O MÉTODO PRESCRITIVO DO RTQ-C	72
TABELA 22 -	COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE ARCONDICIONADO DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL E DO PROJETO COM AS ALTERAÇÕES PROPOSTAS CONSIDERANDO A FACHADA	

	PRINCIPAL COM ORIENTAÇÃO SOLAR PARA O OESTE – ZB-1 - CURITIBA/PR	83
TABELA 23 -	COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE ARCONDICIONADO DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL E DO PROJETO COM AS ALTERAÇÃO PROPOSTA DO FATOR SOLAR CONSIDERANDO A FACHADA PRINCIPAL COM ORIENTAÇÃO SOLAR PARA O OESTE – ZB-4 - BRASÍLIA/DF	86
TABELA 24 -	COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE ARCONDICIONADO DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL E DO PROJETO COM A ALTERAÇÃO DO FATOR SOLAR CONSIDERANDO A FACHADA PRINCIPAL COM ORIENTAÇÃO SOLAR PARA O NORTE – ZB-7 – CUIABÁ/MT.....	88
TABELA 25 -	COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE ARCONDICIONADO DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL E DO PROJETO COM A ALTERAÇÃO DO FATOR SOLAR CONSIDERANDO A FACHADA PRINCIPAL COM ORIENTAÇÃO SOLAR PARA O LESTE – ZB-7 – CUIABÁ/MT.....	88
TABELA 26 -	COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE ARCONDICIONADO DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL E DO PROJETO COM A ALTERAÇÃO DO FATOR SOLAR CONSIDERANDO A FACHADA PRINCIPAL COM ORIENTAÇÃO SOLAR PARA O SUL – ZB-7 – CUIABÁ/MT.....	89
TABELA 27 -	COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE ARCONDICIONADO DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL E DO PROJETO COM A ALTERAÇÃO DO AVS, CONSIDERANDO A FACHADA PRINCIPAL COM ORIENTAÇÃO SOLAR PARA O NORTE – ZB-7 – CUIABÁ/MT	90
TABELA 28 -	COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE ARCONDICIONADO DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL E DO PROJETO COM A ALTERAÇÃO DO AVS, CONSIDERANDO A FACHADA PRINCIPAL COM ORIENTAÇÃO SOLAR PARA O LESTE – ZB-7 – CUIABÁ/MT.....	91
TABELA 29 -	COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE ARCONDICIONADO DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL E DO PROJETO COM A ALTERAÇÃO DO AVS, CONSIDERANDO A FACHADA PRINCIPAL COM ORIENTAÇÃO SOLAR PARA O SUL – ZB-7 – CUIABÁ/MT	92
TABELA 30 -	COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE ARCONDICIONADO DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL E DO PROJETO COM A ALTERAÇÃO DO AHS, CONSIDERANDO A FACHADA PRINCIPAL COM ORIENTAÇÃO SOLAR PARA O NORTE – ZB-7 – CUIABÁ/MT	94
TABELA 31 -	COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE ARCONDICIONADO DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL E DO PROJETO COM A ALTERAÇÃO DO AHS, CONSIDERANDO A FACHADA PRINCIPAL COM ORIENTAÇÃO SOLAR PARA O LESTE – ZB-7 – CUIABÁ/MT.....	95
TABELA 32 -	COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE ARCONDICIONADO DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL E DO PROJETO COM A ALTERAÇÃO DO AHS, CONSIDERANDO A FACHADA PRINCIPAL COM ORIENTAÇÃO SOLAR PARA O SUL – ZB-7 – CUIABÁ/MT	96

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A -	PROJETO PADRÃO	106
ANEXO B -	PLANILHAS DE CÁLCULOS	109

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	- Associação de Normas Técnicas
AC	- Área Condicionada
Acob	- Área de projeção da cobertura
Aenv	- Área da envoltória
AHS	- Ângulo Horizontal de Sombreamento
ANC	- Área Não Condicionada
APB	- Área de Permanência Breve
Ape	- Área de projeção do edifício
ASHRAE	- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
Atot	- Área total de piso
AU	- Área Útil
AVS	- Ângulo Vertical de Sombreamento
BEN	- Balanço Energético Nacional
DCI	- Densidade de Carga Interna
DPI	- Densidade de Potência de Iluminação
EERE	- Energy Efficiency and Renewable Energy (US DOE)
Env	- Envoltória
EPE	- Empresa de Pesquisa Energética
EqNum	- Equivalente Numérico
EqNumCA	- Equivalente Numérico do Sistema de Condicionamento de Ar
EqNumDPI	- Equivalente Numérico do Sistema de Iluminação
EqNumEnv	- Equivalente Numérico da Envoltória
FA	- Fator Altura
FF	- Fator de Forma
FS	- Fator Solar
GT	- Grupo de Trabalho
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICenv	- Índice de Consumo da envoltória
Inmetro	- Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
IPCC	- Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
ISO	- International Organization for Standardization
LabEEE	- Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
MME	- Ministério de Minas e Energia
NBR	- Norma Brasileira Regulamentadora
NFRC	- National Fenestration Rating Council
PAFo	- Percentual de Área de Abertura na Fachada oeste
PAFt	- Percentual de Área de Abertura na Fachada total
PAZ	- Percentual de Abertura Zenital
PBE	- Programa Brasileiro de Etiquetagem
PIB	- Produto Interno Bruto
Procel	- Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PJF	- Percentual de Janelas na Fachada
PT	- Pontuação Total
RTQ	- Regulamento Técnico da Qualidade
TRY	- Ano climático de referência

Ucob	- Transmitância térmica da cobertura
UFSC	- Universidade Federal de Santa Catarina
Ucob	- Transmitância térmica da cobertura
Upar	- Transmitância térmica das paredes
UTFPR	- Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Vtot	- Volume total da edificação
ZB	- Zona Bioclimática

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	20
1.2	OBJETIVO GERAL.....	21
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
1.4	JUSTIFICATIVAS	21
1.5	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	22
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1	PANORAMA SOBRE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL.....	23
2.2	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES	25
2.3	USO DE PROTEÇÕES SOLARES EM ABERTURAS ENVIDRAÇADAS	29
2.4	REGULAMENTO TÉCNICO DA QUALIDADE PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICOS (RTQ-C).....	32
2.4.1	Exemplos de sistemas de certificações ambientais e de eficiência energética.....	32
2.4.2	Parâmetros analisados pelo RTQ-C	39
2.4.3	Zonas bioclimáticas	45
3	METODOLOGIA	48
3.1	DESCRIÇÃO DO OBJETO DO ESTUDO.....	49
3.1.1	Implantação do projeto padrão de acordo com a orientação solar da fachada principal.....	50
3.1.2	Materiais e sistema construtivo.....	55
3.1.3	Sistema de iluminação	60
3.1.4	Sistema de ar condicionado	64
3.1.5	Bonificação com o uso racional de água.....	67
3.1.6	Parâmetros fixos e variáveis	68
3.2	LOCALIDADES SELECIONADAS PARA A ANÁLISE.....	69
3.3	TESTE DE VARIÁVEIS ARQUITETÔNICAS PARA ANÁLISE DA ENVOLTÓRIA.....	69
3.4	FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL.....	70

4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	72
4.1	CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL POR MEIO DO MÉTODO PRESCRITIVO DO RTQ-C (SITUAÇÃO EXISTENTE).....	72
4.2	PROPOSTAS DE DIRETRIZES PARA MELHORIA DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DA ENVOLTÓRIA DO PROJETO PADRÃO E OBTENÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COM O “NÍVEL A”.....	73
4.2.1	Alterações de parâmetros do projeto padrão para a Zona Bioclimática ZB-1	74
4.2.2	Alterações de parâmetros do projeto padrão para as Zonas Bioclimáticas ZB-4 e ZB-5	75
4.2.3	Alterações de parâmetros do projeto padrão para a Zona Bioclimática ZB-7	76
4.3	ANÁLISE DAS ECONOMIAS DE ENERGIA POR MEIO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COM O PROGRAMA ENERGYPLUS	77
4.3.1	Zona Bioclimática ZB-1 (Curitiba/PR).....	83
4.3.2	Zona Bioclimática ZB-4 (Brasília/DF).....	85
4.3.3	Zona Bioclimática ZB-7 (Cuiabá/MT)	87
5	CONCLUSÕES	98
5.1	CONCLUSÕES GERAIS.....	98
5.2	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	100
	REFERÊNCIAS	101
	ANEXOS	105
	Projeto padrão original - análise da envoltória – ZB-1	114
	Projeto padrão original - análise da envoltória – ZB-2 e ZB-3	116
	Projeto padrão original - análise da envoltória – ZB-4 e ZB-5	118
	Projeto padrão original - análise da envoltória – ZB-7	120
	Projeto padrão original - análise da envoltória – ZB-6 e ZB-8	122
	Projeto padrão otimizado - análise da envoltória – ZB-1 – FS, AVS e AHS.....	124
	Projeto padrão otimizado - análise da envoltória – ZB-4 e ZB-5 – FS	127
	Projeto padrão otimizado - análise da envoltória – ZB-7 – FS	130
	Projeto padrão otimizado - análise da envoltória – ZB-7 – AVS.....	133
	Projeto padrão otimizado - análise da envoltória – ZB-7 – AHS.....	136
	GLOSSÁRIO	139

1 INTRODUÇÃO

A temática da sustentabilidade no setor da construção civil é de extrema importância, já que a indústria da construção causa um grande impacto ambiental ao longo de toda a sua cadeia produtiva (KARPINSKI, 2007).

O setor da construção civil tem ganhado força e importância no cenário internacional no que se refere à busca de sua sustentabilidade e a transformação de práticas e métodos ultrapassados, que se vê agora diante de uma "onda verde", com o aumento de inúmeras publicações sobre o assunto; a realização de vários eventos e seminários para difundir o tema, enfim, uma série de iniciativas que visam, acima de tudo, disseminar conhecimento e gerar o real engajamento do setor como um todo, desde produtores de matéria-prima até as próprias construtoras. A construção civil sustentável, como é chamada essa nova tendência, faz uso de materiais ecologicamente corretos e eficientes e de soluções tecnológicas inteligentes para promover o bom uso e a economia de recursos, como água e energia elétrica; aliados à redução da emissão de gases de efeito estufa, tanto na produção de matéria-prima quanto na operação normal das edificações e a melhoria da qualidade do ar no ambiente (FELDMAN, 2007).

O consumo de energia em edifícios (iluminação, condicionamento de ar, funcionamento de equipamentos) é responsável por pelo menos 40% do total da energia utilizada na maioria dos países. Esse cenário tende a crescer fortemente, com o desenvolvimento rápido da construção civil em países em desenvolvimento, como a China e a Índia. É essencial agir agora, pois os edifícios podem oferecer uma grande contribuição para a regressão das alterações climáticas e utilização energética (WSBC, 2008). Também relatórios do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2007) apontam nessa direção, mostrando que as soluções para diminuir a emissão de gases que contribuem para o aquecimento global envolvem ações voltadas à eficiência energética.

Estima-se que todo o custo operacional de um edifício ao longo de sua vida supere o custo total de construção do mesmo (Figura 1), sendo que a energia elétrica é um dos principais custos operacionais. Por isso a importância de investimentos em produtos tecnologicamente mais eficientes e modernos ou mudanças arquitetônicas que visem conservação energética, que se pagarão ao longo dos anos com a economia gerada por eles, aliada com ações de conscientização dos usuários (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 1997).

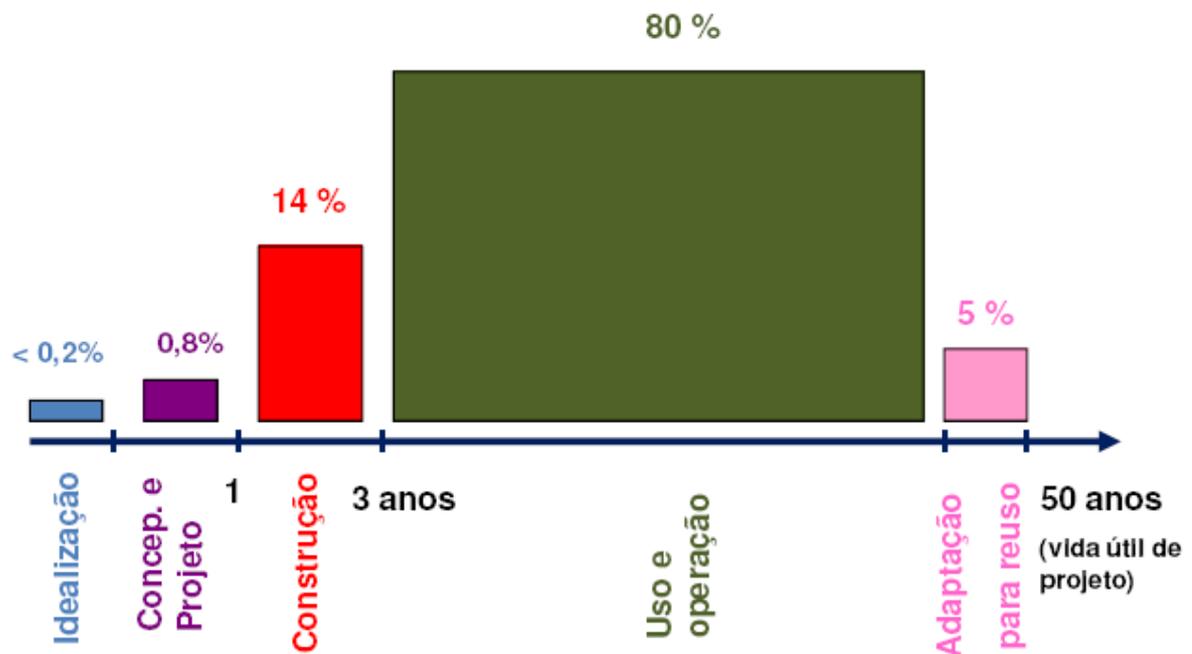


FIGURA 1 - CUSTO TOTAL DE UM EDIFÍCIO COMERCIAL EM 50 ANOS (VIDA ÚTIL DE PROJETO)

FONTE: CEOTTO, 2008.

1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

O setor da construção civil brasileiro tem evoluído bastante nos últimos anos, com aumento da produtividade nos seus mais diversos segmentos. Os processos tornaram-se mais eficientes por meio da adoção de técnicas utilizadas em outros setores, ou seja, houve um incremento dos níveis de industrialização da construção civil, motivada por diversos fatores como a falta de mão-de-obra qualificada, a necessidade de aumento de ganhos de produtividade, os prazos de entrega cada vez menores e a adesão a sistemas de controle de qualidade por parte dos projetistas e construtores (FRANCKLIN; AMARAL, 2008).

No caso da padronização de projetos, muitos projetistas ainda não consideram características climáticas regionais que interferem no conforto ambiental e desempenho energético da edificação pós-ocupação pelos usuários.

1.2 OBJETIVO GERAL

O trabalho tem por objetivo avaliar a eficiência energética da envoltória de um projeto padrão de uma agência bancária em diferentes zonas bioclimáticas brasileiras, por meio de parâmetros do Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) do Inmetro.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos, podem ser elencados os seguintes:

Aplicação do RTQ-C para a avaliação da eficiência energética da envoltória, do sistema de iluminação e do sistema de ar condicionado do projeto padrão de uma agência bancária em diferentes zonas bioclimáticas brasileiras.

Avaliação da influência da orientação solar e do zoneamento bioclimático para a classificação da eficiência energética de um projeto padronizado de edificação comercial.

Análise de hipóteses de mudanças nas variáveis arquitetônicas das aberturas envidraçadas para melhoria da classificação de desempenho energético da envoltória de um projeto padrão.

Análise comparativa do consumo energético do sistema de ar condicionado do projeto com as alterações propostas em relação ao projeto padrão por meio de simulação computacional.

1.4 JUSTIFICATIVAS

As edificações comerciais, de serviços e públicas apresentam oportunidades expressivas de redução de custos e economia de energia por meio do uso de produtos tecnologicamente mais eficientes e modernos, ações de conscientização de seus usuários ou ainda pela implantação de sistemas de gerenciamento da energia utilizada. A observância dos

novos conceitos da arquitetura bioclimática e de eficiência energética, desde a fase de projeto das novas edificações e/ou nos de adequação de ambientes já existentes, contribuem para melhorar o desempenho técnico e econômico destas edificações (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

A certificação de edificações é novidade no Brasil, mas já é um tema bastante difundido e aplicado em outros países. No caso do RTQ-C, há a previsão que a certificação tenha caráter compulsório para todas as novas edificações a serem construídas, dentro de um prazo a ser definido pelo Ministério de Minas e Energia.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O primeiro capítulo deste estudo apresenta uma breve introdução sobre a necessidade de edificações mais sustentáveis sob o ponto de vista energético, assim como justificativas e objetivos do trabalho.

O segundo capítulo apresenta a revisão bibliográfica, com um panorama da eficiência energética em edificações no Brasil e no mundo, utilização de algumas estratégias bioclimáticas e uma breve introdução sobre o RTQ-C.

No terceiro capítulo é apresentada a metodologia a ser seguida, onde o Método Prescritivo do RTQ-C é detalhado, assim como a ferramenta computacional EnergyPlus. Nesse capítulo também é apresentado o objeto do estudo, com as 4 possibilidades de implantação do projeto padrão de acordo com a orientação solar das fachadas e localização nas 8 diferentes zonas bioclimáticas brasileiras, totalizando 32 tipologias possíveis. Também são apresentados os parâmetros utilizados para a análise e classificação do nível de eficiência energética do projeto padrão.

No quarto capítulo são apresentados os resultados referentes à classificação da eficiência energética do projeto padrão de acordo com o Método Prescritivo do RTQ-C, as estratégias bioclimáticas propostas para otimização energética da envoltória do projeto padrão e sua posterior reclassificação e a verificação do potencial de economia de energia do sistema de ar condicionado de ar por meio de simulação computacional com a ferramenta EnergyPlus.

No quinto capítulo são expostas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PANORAMA SOBRE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Dados do Balanço Energético Nacional 2011, ano base 2010 (EPE, 2011) mostram que os segmentos residenciais, comerciais e de serviços públicos representam 46,9% do consumo de energia elétrica no Brasil. Somente os setores comercial e público representam 23,1% desse consumo, devido ao volume de usuários e quantidade de equipamentos. Esses equipamentos, além do consumirem energia elétrica, promovem o aquecimento dos ambientes, gerando ainda mais custos com equipamentos de climatização.

TABELA 1 - COMPOSIÇÃO SETORIAL DO CONSUMO DE ELETRICIDADE – EM %

Ano	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Consumo final (mil tep)	26.626	27.884	29.430	30.955	32.267	33.536	35.442	36.830	36.365	39.187
Setor energético	3,6	3,6	3,5	3,7	3,6	3,7	4,2	4,3	4,4	4,7
Residencial	23,8	22,4	22,3	21,8	22,2	22	22,1	22,3	24,1	23,8
Comercial	14,4	14	14,1	13,9	14,3	14,2	14,2	14,6	15,2	15
Público	8,8	8,7	8,7	8,4	8,7	8,5	8,2	8,1	8,7	8,1
Agropecuário	4	4	4,2	4,1	4,2	4,2	4,3	4,3	3,9	3,9
Transportes	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Industrial	45	47,1	47	47,8	46,7	47	46,7	46,1	43,3	44,2
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

FONTE: EPE, 2011

Em 1985 foi criado no Brasil, sob coordenação da Eletrobrás e iniciativa conjunta do Ministério de Minas e Energia (MME), o Procel – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. O programa tem como objetivo principal “*promover medidas de uso de energia elétrica com a maior eficiência energética possível, de forma que um produto ou um serviço qualquer possa ser realizado com o menor consumo, evitando ao máximo o desperdício, mas logicamente mantendo qualidade e conforto*”. Em 1991, o Procel foi transformado em programa de governo, com responsabilidades ampliadas para todos os segmentos da sociedade ligados direta ou indiretamente ao uso e produção de energia elétrica. Em 1997, quando foi criado o Protocolo de Kyoto, acordo internacional em que os países estabeleceram metas de redução de emissões de CO₂, o Procel iniciou ações voltadas à

melhoria da qualidade de iluminação e conservação de energia em prédios públicos. (PROCEL, 2009).

Entre 1990/2000 o consumo de energia cresceu 44,6%, enquanto que a capacidade instalada cresceu apenas 28,5% (ROSA, 2001).

Em 2001, já no sétimo ano do Plano Real, a economia brasileira apresentava crescimento do PIB em torno de 4,3 % a.a. (IBGE, 2009). Porém, a oferta de energia elétrica não acompanhou esse ritmo. Tendo em vista que a matriz energética brasileira era quase que exclusivamente de base hidráulica e que naquele ano não houve chuvas em quantidade suficiente para suprir os reservatórios das usinas durante o período seco, aliado à falta condições de interligação de sistemas energéticos, ocorreu o episódio que ficou conhecido como o “apagão”. O ano de 2001 terminou com crescimento do PIB de apenas 2,3%, devido à crise energética. O Governo Federal da época instituiu a Câmara de Gestão da Crise de Energia, que ficou popularmente conhecida como “Ministério do Apagão”, cujo objetivo era identificar ações para amenizar o risco do abastecimento de energia, no curto e longo prazo. Nos Estados afetados pela crise (praticamente todo o Brasil, à exceção dos Estados do Sul), foram impostas algumas medidas para a racionalização do consumo de energia em diversos setores. No âmbito do Ministério de Minas e Energia (MME), foram criados grupos técnicos (GT's) com o objetivo de definir níveis mínimos de eficiência energética. Alguns setores da indústria de bens de consumo já possuíam equipamentos com algum tipo de certificação (refrigeradores, fogões, televisores, aparelhos de ar condicionado). Os equipamentos mais eficientes (Nível A) também ganham o Selo do Procel. Da mesma maneira que ocorreu com a certificação de equipamentos, uma das ações apontadas pelo MME foi a certificação de edificações. Para isso, foi criado o GT Edificações, que conta com a participação de diversos órgãos públicos, de representantes da sociedade e do meio acadêmico (PROCEL, 2009).

Em 2007, após algum tempo sob consulta pública, foi publicada a Regulamentação para a Etiquetagem Voluntária de Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (“Regulamentação”) do Procel Edifica. Inicialmente essa etiquetagem possui caráter voluntário, com previsão futura de tornar-se obrigatória. Em 8 de junho de 2009, foi publicada a Portaria nº 163/2009 do Inmetro, que aprovou o Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), baseado na “Regulamentação” do Procel Edifica. Durante o primeiro ano de sua vigência, pouco mais de uma dezena de edificações foram etiquetadas. O Inmetro, por meio de consulta pública, coletou sugestões para melhoria dos procedimentos de avaliação do

RTQ-C, resultando em modificações significativas, principalmente do sistema de iluminação. A Portaria nº 172/2010 de 17/09/2010 do Inmetro é o documento que atualmente estabelece os critérios técnicos para avaliação da eficiência energética de edificações comerciais, de serviços e públicas brasileiras (INMETRO, 2010).

2.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

A eficiência energética passou a ser preocupação maior em boa parte do mundo a partir da década de 70, com a crise do petróleo, quando então se iniciaram pesquisas com intuito de diminuir a dependência em relação ao petróleo e seus derivados. Ao final da década de 80 surgiram preocupações com impactos ambientais devido à queima de combustíveis fósseis, relacionados com variação climática global (IPCC, 2007).

A temática do aquecimento global ganhou destaque nos últimos anos em função das mudanças climáticas observadas em várias regiões do mundo. O Brasil não ficou imune, também sentindo os efeitos dessas mudanças, como seca na Amazônia e até mesmo o surgimento de furacões no sul do país. O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC em inglês), composto por centenas de cientistas de várias nacionalidades, em seu Relatório da Mudança do Clima (IPCC, 2007), cita que uma das medidas para mitigar os efeitos do aquecimento global é investir em ações voltadas à eficiência energética. A repercussão do Relatório do IPCC ficou ainda maior após o Instituto Alfred Nobel da Suécia conceder o Prêmio Nobel da Paz de 2007 ao grupo de cientistas do IPCC, dividindo a láurea com o ex-vice presidente americano e ambientalista Al Gore.

Uma das alternativas para superar a crise de energia foi aumentar a produção de eletricidade. Entretanto, essa opção traz os inconvenientes do impacto ambiental causado por novas usinas, como: as possíveis inundações e deslocamentos de populações (hidrelétricas), a poluição e os riscos com a segurança pública (termelétricas e nucleares). Além disso, a exigência de grandes investimentos dos governos nesses projetos implica a redução dos investimentos em outras áreas (saúde, educação e habitação), antagonizando a idéia de progresso embutida nessa política (GOULART; LAMBERTS; FIRMINO, 1998).

Muito se tem discutido sobre impactos ambientais causados pelas diversas formas de produção de energia. Produção esta que aumenta a cada dia, a fim de suprir uma necessidade

cada vez maior, do ser humano, por energia. Sendo assim, estudos estão voltados não apenas a novas tecnologias e fontes de energia menos nocivas ao ambiente, mas também à importância da conservação e eficiência energética. A alternativa que se mostra mais adequada a esse quadro é aumentar a eficiência no uso da energia (GELLER, 1994), pois é mais barato economizar energia do que fornecê-la, tendo em vista as fases e os custos envolvidos no sistema de produção de energia elétrica, desde a geração até a sua distribuição.

Economizar energia se tornou imprescindível por vários motivos. De uma maneira geral, a redução da demanda de energia elétrica permite uma redução da necessidade de expansão do setor de produção de energia. Portanto, há uma redução dos custos de investimento e há uma redução do impacto ambiental das usinas. Além disso, há vários benefícios diretos que são ainda mais persuasivos (WORLDBUILD, 2001), tais como: redução do custo na construção do edifício através da redução das dimensões de equipamentos e infraestrutura; redução dos custos operacionais, que reflete no condomínio dos locatários; redução dos custos de manutenção; melhoria das condições de trabalho; aumento do valor do edifício e do retorno do investimento; melhoria da relação do edifício com a comunidade, como redução de ruídos e de descarga de calor dos sistemas de ar condicionado.

A eficiência energética está relacionada direta ou indiretamente a todos os setores ligados à energia elétrica. Tudo que utiliza energia deveria obter uma eficiência satisfatória. Desde lâmpadas, eletrodomésticos, automóveis, até os edifícios, foco deste estudo. Os setores residenciais, comerciais e públicos apresentam boas oportunidades de economia e redução de energia, tendo em vista sua participação no consumo final de eletricidade no Brasil, em torno de 47% (EPE, 2011), conforme mostrado no Gráfico 1.

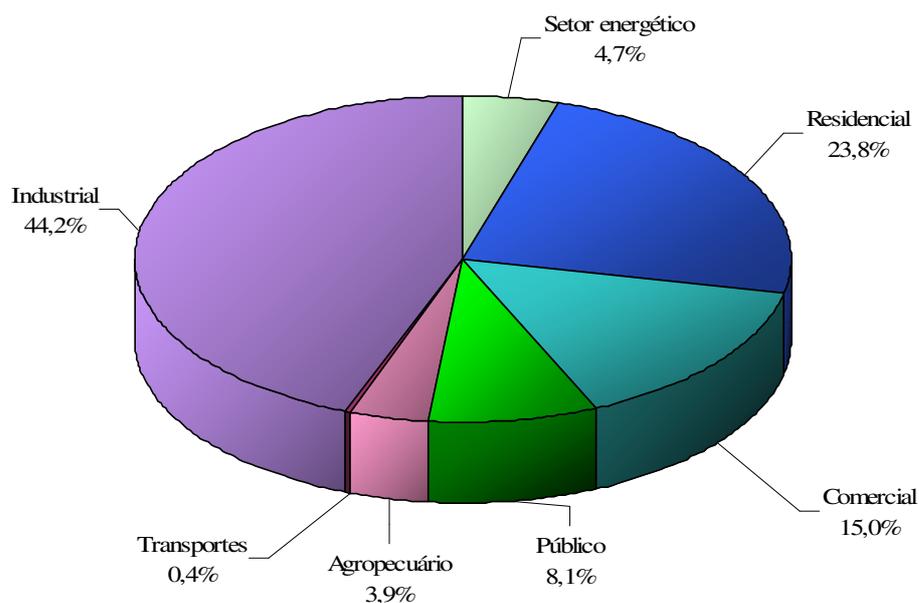


GRÁFICO 1 - COMPOSIÇÃO SETORIAL DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA
 FONTE: EPE, 2011

Lamberts et al. (1997) conceituam eficiência energética como “*a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia. Portanto, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia*”. Também manifestam que, se os profissionais envolvidos no projeto de edifícios tivessem mais conhecimentos sobre a eficiência energética na arquitetura, no projeto e na especificação dos materiais, os valores de consumo poderiam ser reduzidos. Além de evitar a necessidade de investimentos em produção de energia no país, isso retornaria em benefício dos usuários como economia nos custos da obra e no consumo de energia.

Do total da produção de energia elétrica, 22,4% são usados dentro de edifícios dos setores comerciais e públicos (PROCEL, 2000). A distribuição por uso final nesses segmentos é mostrada no Gráfico 2.

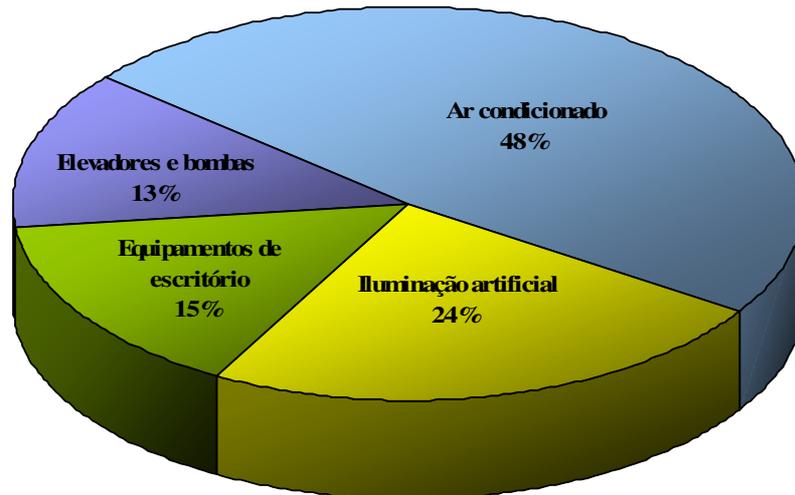


GRÁFICO 2 - DISTRIBUIÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA POR USO FINAL EM EDIFÍCIOS COMERCIAIS E PÚBLICOS

FONTE: Lamberts et. al., 1997.

Observa-se que iluminação e ar condicionado são os grandes usos finais da energia desses segmentos. Porém há uma certa dificuldade para a obtenção de dados mais precisos sobre o consumo por metro quadrado para diferentes tipos de uso em edifícios comerciais e públicos no Brasil (GELLER, 1994). O Gráfico 3 mostra a participação dos sistemas de iluminação e de climatização artificial em função da natureza da ocupação da edificação.

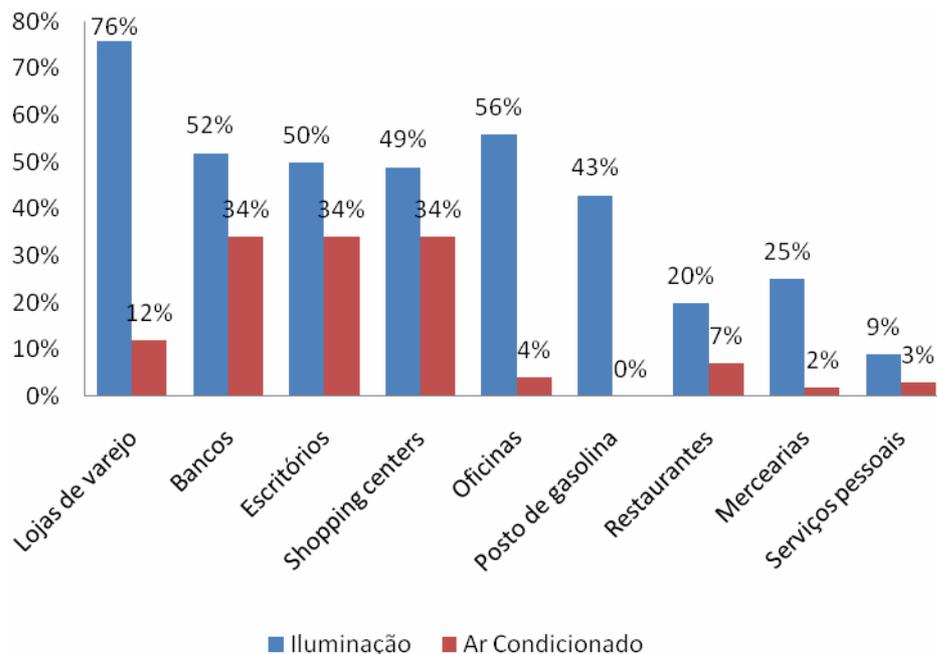


GRÁFICO 3 - CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA - ILUMINAÇÃO E AR CONDICIONADO - EM DIFERENTES TIPOS DE EDIFÍCIOS COMERCIAIS E DE SERVIÇOS

FONTE: Lamberts et. al., 1997.

Nas décadas de 50 a 80, observou-se a tendência de projetar edificações sem considerar adequadamente o clima do local. O chamado “estilo internacional” da arquitetura teve grande influência no surgimento de edifícios envidraçados nos mais diversos lugares, se tornando um ícone de ostentação e símbolo de poder, indiferentes às condições climáticas. Sistemas de iluminação e climatização artificial passaram a ser largamente utilizados, dando ao projetista uma posição bastante cômoda perante os problemas de adequação do edifício ao clima. Foram surgindo verdadeiros colossos arquitetônicos, submetidos a um voraz consumo energético. Essa situação agravou-se com a crise de energia na década de 70 e com o aumento da população nos centros urbanos (GOULART; LAMBERTS; FIRMINO, 1998).

As atuais discussões acerca da importância do projeto bioclimático já se manifestavam no Brasil a partir da década de 20. Nos memoriais descritivos dos projetos analisados por Gutierrez e Labaki (2005), observam-se indicações do uso de soluções passivas na concepção das envoltórias das edificações. Embora a retomada da discussão do condicionamento passivo tenha se iniciado nos anos 70 no hemisfério norte devido à crise do petróleo, no Brasil da energia hidrelétrica, essa tendência se observa no final do milênio, principalmente após a crise da infraestrutura do setor elétrico, com conseqüente racionamento e elevação do custo da energia ao consumidor.

Goulart et al. (1998) citam que com a crise de energia da década de 70, tornou importante o estabelecimento de critérios de projeto que garantam à arquitetura uma identificação maior com o local onde se constrói ou se pretende construir, considerando o conforto térmico dos indivíduos e a redução no consumo de energia. O conhecimento das condições climáticas externas é importante, pois estas representam os requisitos básicos para o projeto de sistemas de ar condicionado, cálculos simplificados do consumo de energia e para simulações mais detalhadas de energia em edificações.

2.3 USO DE PROTEÇÕES SOLARES EM ABERTURAS ENVIDRAÇADAS

As principais trocas térmicas em uma edificação acontecem geralmente nos fechamentos transparentes, que compreendem janelas, clarabóias e qualquer outro elemento transparente na arquitetura. Nesses fechamentos podem ocorrer os três tipos básicos de trocas térmicas: condução, convecção e radiação. Com relação às duas primeiras, o comportamento é

semelhante ao dos fechamentos opacos, acrescentando aos transparentes a possibilidade do controle das trocas térmicas basicamente ao abri-los ou fechá-los. A radiação é que se torna o principal fator devido à sua parcela diretamente transmitida para o interior (inexistente nos fechamentos opacos), que depende da transmissividade do vidro (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 1997).

Para determinar a quantidade de calor que penetra em um ambiente através de uma janela ou sistema de abertura (janela com brise ou cortina, por exemplo) é importante conhecer o conceito de fator solar. O fator solar de uma abertura pode ser entendido como a razão entre a quantidade de energia solar que atravessa a janela pelo que nela incide. Este valor é característico para cada tipo de abertura e varia com o ângulo de incidência da radiação solar. Para o vidro simples, com a incidência direta da radiação solar normal à superfície, o fator solar é aproximadamente 0,87. Isto significa que 87% da radiação solar incidente sobre a janela com vidro simples e sem proteção penetra no interior da edificação. A maior parte é transmitida diretamente ao interior, somando-se a 50% da parcela da radiação absorvida pelo vidro. Utilizando sistemas de aberturas com fatores solares baixos controla-se a entrada de calor para o interior. Deve-se ponderar a iluminação natural nestes casos, que não pode ser reduzida na mesma proporção da entrada de calor (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 1997).

A orientação e o tamanho da abertura irão determinar sua exposição ao sol. Quanto maior uma abertura, maior a quantidade de calor que pode entrar ou sair do ambiente. Outro fator importante no dimensionamento é a luz natural. Deve-se pensar o calor e a luz de forma integrada. A orientação da fachada, por exemplo, pode expor aberturas de dimensões idênticas a quantidades de calor solar e iluminação distintas. A trajetória do sol na abóbada celeste é diferente para cada orientação e para cada latitude. O que normalmente se faz é obter os valores de radiação solar para a abertura em questão diretamente de tabelas com valores para céu claro representativos dos valores máximos de radiação solar para o local. De forma mais completa e precisa pode-se utilizar valores de radiação horários, como os existentes no ano Climático de Referência (TRY) para a localidade (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 1997).

O uso de proteções solares em uma abertura é um recurso importante para reduzir os ganhos térmicos. Entretanto, deve-se tomar cuidado com a iluminação natural, que não deve ser prejudicada. As proteções solares internas são basicamente as cortinas e as persianas. São bastante flexíveis sob o ponto de vista da operação, bastando abri-las ou fechá-las conforme a necessidade. Porém, as proteções internas não evitam o efeito estufa, pois o calor solar que as

atinge se transforma em radiação de onda longa, permanecendo na sua maior parte no ambiente interior. A opção por uma proteção externa pode ser a mais adequada se houver um dimensionamento que garanta a redução da incidência da radiação solar, quando necessária, sem interferir na luz natural. É importante salientar que as proteções externas também interferem na definição da fachada arquitetônica. Podem ser pensadas como elemento compositivo da fachada e se tirar partido desta idéia para conceber, inclusive, a linguagem arquitetônica do edifício (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 1997). A Figura 2 mostra o uso de brises utilizados como proteções externas de aberturas envidraçadas.



FIGURA 2 – USO DE BRISES PARA PROTEÇÃO SOLAR DE ABERTURAS ENVIDRAÇADAS
FONTE: Arcoweb, 2011.

Porém, ainda se percebe a resistência ao uso dos dispositivos de sombreamento nos projetos atuais, considerados muitas vezes como uma solução “limitante ou inibidora da criatividade”, de difícil aprendizado, ou ainda, de tempo e custo elevado. Ainda não foi incorporado o condicionamento passivo, ou a relação custo / benefício na redução do consumo de energia. (GUTIERREZ; LABAKI, 2005).

A Figura 3 mostra como proteções solares (brises horizontais) podem ser utilizadas como elementos componentes do partido arquitetônico de uma edificação comercial.



FIGURA 3 – FACHADA COM UTILIZAÇÃO DE BRISES SUGERINDO RITMO NO PARTIDO ARQUITETÔNICO

FONTE: Arcoweb, 2011

2.4 REGULAMENTO TÉCNICO DA QUALIDADE PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICOS (RTQ-C)

2.4.1 Exemplos de sistemas de certificações ambientais e de eficiência energética

O consumo de energia em edificações está relacionado aos ganhos ou perdas de calor pela envoltória da edificação que, associados à carga interna gerada pela ocupação, pelo uso de equipamentos e pela iluminação artificial, resultam no consumo dos sistemas de condicionamento de ar, além dos próprios sistemas de iluminação e equipamentos. Programas de eficiência energética para edificações devem incluir etapas que intervenham na envoltória, atuando no projeto e construção da edificação, na eficiência dos sistemas de condicionamento de ar, na eficiência e potência instalada dos sistemas de iluminação e no uso da edificação.

Estas medidas podem ser executadas através de leis, normas e códigos para edificações eficientes voltadas à prática profissional e de campanhas educativas para conscientizar profissionais da construção civil e o usuário da edificação (CARLO, 2008).

As primeiras normas de eficiência energética em edificações surgiram na década de 70, após a crise do petróleo. Diversos países lançaram programas de incentivo à redução do consumo de energia, resultando posteriormente na criação de normas de eficiência energética. Diversos países revisaram ou estão em processo de revisão de suas leis a fim de atender ao Protocolo de Kyoto, de 1997. O Protocolo é o documento final da Convenção das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas que regula a emissão de gases na atmosfera, responsáveis pelo efeito estufa. Como meta, espera-se que, até 2012, os gases que provocam o efeito estufa e que são emitidos na atmosfera pelos países que geram um total de 55% das emissões de gases do planeta sejam reduzidos em 5,2% (CARLO, 2008).

Em geral, as normas de eficiência energética de edificações não-residenciais apresentam duas abordagens: uma prescritiva e outra por desempenho. Costumam apresentar ainda uma abordagem alternativa, que pode envolver um sistema de trocas ou avaliações específicas por profissionais devidamente qualificados (CARLO, 2008).

A abordagem prescritiva estabelece limites ou indica soluções que atendem ao exigido para aprovação da edificação proposta, envolvendo propriedades físicas dos componentes da envoltória, como transmitância térmica, fator solar de vidros e resistência térmica de isolamentos. Para sistemas de iluminação artificial, geralmente estabelecem limites de densidade de potência de iluminação. Este método é adotado em diversas normas, como no Reino Unido e nos Estados Unidos, com a ASHRAE Standard 90.1. Já a abordagem por desempenho foca as perdas de calor pela envoltória, o desempenho global da edificação ou o seu consumo de energia. As formas de adotar esta abordagem variam, sendo as mais comuns os métodos de cálculo para comparação com limites pré-estabelecidos e os métodos de cálculo ou simulações para comparações do desempenho térmico ou energético de uma edificação proposta com um modelo que atende à abordagem prescritiva (CARLO, 2008).

Para realizar a simulação, as normas indicam programas específicos ou que atendem a determinados pré-requisitos, como no caso de atendimento ao BESTEST (*Building Energy Simulation TEST*) da ASHRAE. Mesmo as abordagens por desempenho que focalizam as trocas globais da envoltória, como a norma espanhola e a de Hong Kong, ou as abordagens que utilizavam a simulação do desempenho térmico, lidaram com variáveis em comum que participam das trocas térmicas entre a edificação e o seu meio externo. (CARLO, 2008).

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 ou energético de edifícios, conforme mostrado no Quadro 1:

QUADRO 1 - SISTEMAS DE AVALIAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE DESEMPENHO AMBIENTAL OU ENERGÉTICO DE EDIFÍCIOS E PROGRAMAS DE INCENTIVO UTILIZADOS EM DIVERSOS PAÍSES

País	Sistema	Comentários
Internacional	GBC (Green Building Challenge)	Sistema com base em critérios e benchmarks hierárquicos. Ponderação ajustável ao contexto de avaliação.
Estados Unidos	LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)	Inspirado no BREEAM. O sistema é atualizado regularmente e versões para outras tipologias estão em estágio piloto. (www.usgbc.org)
	MSDG (Minnesota Sustainable Design Guide)	Sistema com base em critérios (emprego de estratégias de projeto ambientalmente responsável) Ferramenta de auxílio ao projeto
	Energy Star	Programa do governo que fornece soluções custo-efetivas, ajudando a indústria/comércio e indivíduos a protegerem o ambiente através da eficiência energética. Estabelecido pelo Environmental Protection Agency (EPA) em 1992 e engloba mais de 35 produtos para residências e escritórios, edifícios novos e organizações. (www.energystar.gov)
	Cal-Arch	Sistema de classificação para edifícios comerciais desenvolvido para a Califórnia. (http://poet.lbl.gov/cal-arch)
Hong Kong	HK-BEAM (Hong Kong Building Environmental Assessment Method)	Adaptação do BREEAM 93 para Hong Kong, em versões para edifícios de escritórios novos ou em uso, e residenciais. Não pondera
Alemanha	EPIQR	Avaliação de edifícios existentes para fins de melhoria ou reparo.
Suécia	EcoEffect	Método de LCA (Life-cycle analysis) para calcular e avaliar cargas ambientais causadas por um edifício ao longo de uma vida útil assumida. Avalia uso de energia, uso de materiais, ambiente interno, ambiente externo e custos ao longo do ciclo de vida.
	Environmental Status of Buildings	Sistema com base em critérios e benchmarks, modificado segundo as necessidades dos membros.
Reino Unido	BREEAM (BRE Environmental Assessment Method)	Sistema com base em critérios e benchmarkings. Um terço dos itens avaliados são parte de um bloco opcional de avaliação de gestão e operação para edifícios em uso. Os créditos são ponderados para gerar um índice de desempenho ambiental do edifício. O sistema é atualizado regularmente.
	PROBE (Post-occupancy Review of Building Engineering)	Projeto de pesquisa para melhorar a retro-alimentação sobre desempenho de edifícios, através de avaliações pós-ocupação (com base em entrevistas técnicas e com os usuários) e de método publicado de avaliação e relato de energia.
Dinamarca	BEAT 2002	Método de LCA (Life-cycle analysis), que trata os efeitos ambientais da perspectiva do uso de energia e materiais.
Noruega	EcoProfile	Sistema com base em critérios e benchmarks hierárquicos, influenciado pelo BREEAM. Possui duas versões: edifícios comerciais e residenciais.
Finlândia	PromisE Environmental Classification System for Buildings	Sistema com base em critérios e benchmarks, com ponderação fixa para quatro categorias: saúde humana (25%), recursos naturais (15%), consequências ecológicas (40%) e gestão de risco (20%).
Áustria	Comprehensive Renovation	Sistema com base em critérios e benchmarks para residências para estimular renovações abrangentes em vez de parciais.

QUADRO 1 – cont.

País	Sistema	Comentários
Canadá	BEPAC (Building Environmental Performance Assessment Criteria)	Inspirado no BREEAM e dedicado a edifícios comerciais novos ou existentes. O sistema é orientado a incentivos, e distingue critérios de projeto e de gestão separados para o edifício-base e para as formas de ocupação que ele abriga.
	BREEAM Canada	Adaptação do BREEAM
França	ESCALE	Sistema com base em critérios e benchmarks. Pondera apenas os itens nos níveis inferiores. O resultado é um perfil de desempenho global, detalhado por sub-perfis.
Japão	CASBEE (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency)	Sistema com base em critérios e benchmarks. Composto por várias ferramentas para diferentes estágios do ciclo de vida.
	BEAT (Building Environmental Assessment Tool)	Ferramenta LCA (Life-cycle analysis).
Austrália	NABERS (National Australian Building Environment Rating Scheme)	Sistema com base em critérios e benchmarks para edifícios novos e existentes. Atribui uma classificação única, a partir de critérios diferentes para proprietários e usuários. Em estágio piloto.
Brasil	AQUA (Alta Qualidade Ambiental)	Adaptado à realidade brasileira pela Fundação Vanzolini. Metodologia baseada no modelo francês HQE. A certificação baseia-se em 14 critérios de sustentabilidade, divididos em 4 fases: eco-construção, eco-gestão, conforto e saúde, com auditorias presenciais em todas as fases. É flexível quanto às soluções de projeto de acordo com a realidade brasileira, considerando região, clima, vegetação e comunidade local.
	LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)	Mantida pelo World Green Building Council. Desenvolvido para orientação e certificação de construções sustentáveis, o sistema avalia dimensões como localização, uso racional da água, eficiência energética, qualidade ambiental, materiais e recursos. A certificação é dividida em 4 níveis, conforme os pontos atingidos: certified, silver, gold e platinum.
	Selo Casa Azul CAIXA	O Selo Casa Azul é o instrumento de classificação da sustentabilidade de projetos habitacionais criado pela Caixa Econômica Federal. A proposta é qualificar os empreendimentos dentro de critérios socioambientais que priorizam a economia de recursos naturais e as práticas sociais. O selo é aplicável aos projetos propostos à CAIXA para financiamento ou nos programas de repasse. Para a concessão do selo, a CAIXA analisa critérios agrupados em 6 categorias: qualidade urbana, projeto e conforto, eficiência energética, conservação de recursos materiais, gestão da água e práticas sociais. O selo divide-se nas classes ouro, prata e bronze, definidas pelo número de critérios atendidos.
	Procel Edifica (Eletrobrás/Inmetro)	O Procel Edifica foi instituído em 2003 pelo Procel/Eletrobrás. As edificações comerciais, de serviços e públicas avaliadas e classificadas recebem a etiqueta nacional de conservação de energia (ENCE) concedida em parceria com o Inmetro. Para receber a etiqueta, 3 sistemas da edificação são avaliados: envoltória, iluminação e ar condicionado. Os prédios são classificados de “A” (mais eficiente) a “E” (menos eficiente). Inicialmente implantada de forma gradual, a etiquetagem passará a ser compulsória no futuro.

FONTE: SILVA, 2003 e GOMES, 2011 (adaptado).

É importante citar que as normas descritas estabelecem parâmetros que descrevem a eficiência mínima da edificação, não se tratando especificamente de edificações eficientes, mas sim evitando a prática de construção de edificações energeticamente ineficientes (SILVA, 2003).

Classificar o desempenho energético de edifícios está se tornando um aspecto de extrema importância do edifício em operação. Um edifício com uma alta classificação pode ser elegível para um reconhecimento especial através de um programa obrigatório ou voluntário. Este reconhecimento valoriza o imóvel, aumentando seu valor de venda ou de aluguel. Além disso, os sistemas de classificação também ajudam a identificar edifícios que consomem muita energia, fornecendo, então, oportunidade para que medidas de conservação energética sejam tomadas. O sistema de classificação de edifícios é um fenômeno crescente e usado por vários países (OLOFSSON et al., 2004).

A elaboração de normas, regulamentações e programas de eficiência energética é uma experiência já realizada em diversos outros países. É interessante conhecer a prática legal e técnica através das quais países como os EUA, Portugal, Austrália e México elaboraram, aprovaram e implementaram suas políticas de eficiência energética. Entretanto, os parâmetros e limites de eficiência definidos para outros países foram baseados em realidades distintas às brasileiras: nos EUA, as normas de eficiência são usadas há cerca de 30 anos e já houve adaptação progressiva da indústria construtiva aos padrões de eficiência. Já a Austrália, cujas regulamentações de eficiência energética são mais recentes, lida com uma realidade econômica e padrões construtivos (materiais e tecnologias) distintos dos padrões brasileiros. Em todos os casos, afirmam-se que os parâmetros definidos nas normas são baseados em critérios econômicos, muitos deles baseados também em simulação, mas a metodologia de avaliação das edificações não é divulgada; somente os resultados e os dados de entrada mais relevantes são publicados (CARLO, 2008).

Em 1984, o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - Inmetro, iniciou a discussão com a sociedade sobre o tema eficiência energética, com a finalidade de racionalizar o uso dos diversos tipos de energia no país. Uma das maneiras foi informar os consumidores sobre a eficiência energética de cada produto, estimulando-os a fazer compras conscientes e econômicas. O Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE é decorrente do Protocolo firmado em 1984 entre o então Ministério da Indústria e do Comércio e a Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica - ABINEE, com a interveniência do MME atualmente existem 22 programas de etiquetagem, e a previsão do desenvolvimento

de mais 20 programas para os próximos anos. O Programa de Conservação de Energia atua por meio de etiquetas informativas, com o objetivo de alertar o consumidor quanto à eficiência energética de alguns dos principais eletrodomésticos nacionais. Para cada linha de itens certificados, o Inmetro dispõe de etiqueta própria, só mudando as características técnicas de cada produto. As letras constantes nas etiquetas indicam a respectiva eficiência energética. Por exemplo, um produto com a etiqueta com a letra “A” é mais eficiente que um com a letra “C”. Fica disponível na Internet no site do Inmetro, tabelas que relacionam todos os produtos aprovados no PBE e que, estão autorizados a ostentar a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE (INMETRO, 2008).

Com respeito ao uso de novas tecnologias, produtos certificados com o Selo Procel têm ganhado projeção por representarem racionalidade quanto ao uso da energia elétrica. O Selo Procel abrange os equipamentos que apresentam os melhores índices de eficiência energética dentro da sua categoria e também tem por finalidade estimular a fabricação nacional de produtos mais eficientes no item economia de energia elétrica e orientar consumidores no ato da compra a adquirirem equipamentos que apresentem melhores níveis de eficiência energética. O Inmetro que, de forma voluntária, vinha estabelecendo programas de etiquetagem, passou a ter a responsabilidade de estabelecer programas de avaliação da conformidade compulsórios na área de desempenho energético, passando a desempenhar papel fundamental na implementação da Lei de Eficiência Energética. Destaca-se a importância da Eletrobrás e da Petrobras como parceiros estratégicos na promoção da eficiência energética como a melhor forma de consumo racional e econômico (INMETRO, 2008).

Até 2001, não havia lei ou norma de eficiência energética em edificações no Brasil. A primeira lei referente à eficiência energética surgiu após um racionamento de energia: a Lei nº 10.295 dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e foi regulamentada pelo Decreto nº 4.059 de 19 de dezembro de 2001 (BRASIL, 2001) que estabeleceu que deveriam ser criados “níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País, bem como as edificações construídas”. Indicou também a necessidade de “indicadores técnicos e regulamentação específica” para estabelecer a obrigatoriedade dos níveis de eficiência no país. A partir do decreto foi criado um “Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País” para propor uma forma de

regulamentar as edificações construídas no Brasil visando o uso racional da energia elétrica (CARLO, 2009).

Uma das conseqüências da Lei nº 10.295 e do Decreto nº 4059 foi o fortalecimento do PROCEL, que organizou a estrutura necessária para viabilizar as exigências do decreto. O PROCEL lançou, no ano de 2003, o PROCEL Edifica: Plano de Ação para Eficiência Energética em Edificações. Dividido em seis vertentes de ação, o programa visa construir as bases necessárias para racionalizar o consumo de energia de edificações no Brasil. As vertentes são:

1. Arquitetura Bioclimática;
2. Indicadores Referenciais para Edificações;
3. Certificação de Materiais e Equipamentos;
4. Regulamentação / Legislação;
5. Remoção de Barreiras à Conservação de Energia Elétrica; e
6. Educação.

A vertente 4, de Regulamentação / Legislação, está dividida em 5 projetos, que são:

- a) Determinação de parâmetros referenciais para edificações – a Envoltória do Edifício;
- b) Promoção de ações para determinação de indicadores referenciais para edificações – os equipamentos;
- c) Estudo de critérios para a ligação definitiva da edificação pela concessionária de energia elétrica;
- d) Critérios para concessão de financiamentos pela Caixa Econômica Federal; e
- e) Projeto de Lei Federal.

O item a) visa estabelecer os índices mínimos de eficiência energética da envoltória de uma edificação e resultou na aprovação, no ano de 2007, da Regulamentação para Etiquetagem Voluntária de Nível de Eficiência Energética em Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas que, em junho de 2009, tornou-se a base do RTQ-C do Inmetro para a certificação da eficiência energética de edifícios não residenciais. Com início de implementação em 2009, entende-se que o RTQ-C irá estimular a construção de edificações eficientes através da exploração do “status” que poderão ter no mercado da construção civil.

2.4.2 Parâmetros analisados pelo RTQ-C

O Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) do Inmetro (INMETRO, 2010) possui caráter voluntário e especifica métodos para classificação de edifícios comerciais e de serviços públicos quanto a sua eficiência. Aplica-se para edifícios com área mínima de 500 m² ou com tensão de abastecimento superior a 2,3 kV, contendo ou não sistema de ar condicionado. Seu objetivo é criar condições para a etiquetagem voluntária do nível de eficiência energética dessas edificações. Composta de três partes principais, o RTQ-C abrange requisitos para a envoltória, o sistema de iluminação e o sistema de condicionamento de ar. Permite uma classificação que varia de A (mais eficiente) a E (menos eficiente), definidos para cada sistema individualmente que, somados através de seus pesos, indicam o nível de eficiência global do edifício (CARLO, 2008).

Para determinação do nível de eficiência global da edificação são analisados os seguintes itens com seus respectivos pesos:

- Envoltória (30%)
- Sistema de Iluminação (30%)
- Sistema de Condicionamento de Ar (40%)

Um requisito mínimo para a edificação ser elegível a certificação é possuir circuitos elétricos com possibilidade de medição centralizada por uso final: iluminação, sistema de condicionamento de ar e outros. Exceção aplicada a hotéis com desligamento automático para quartos e edificações com múltiplas unidades autônomas de consumo.

Os requisitos mínimos para a certificação de Nível A são:

- Havendo demanda para uso de água quente utilizar aquecimento solar de água, bomba de calor ou aquecimento por reuso do calor;
- Possuindo mais de um elevador no edifício deverá existir um sistema de controle de tráfego;
- Utilizar bombas de água etiquetadas;

No caso de edifícios que possuem áreas não condicionadas, deve-se observar o seguinte para a análise do requisito envoltória dessas áreas:

- áreas de curta permanência, tais como circulação, depósitos, banheiros: não são consideradas para análise da envoltória;
- áreas de permanência prolongada, tais como lojas, escritórios, áreas de trabalho: é obrigatório comprovar por simulação que o ambiente interno proporciona temperaturas dentro da zona de conforto durante um percentual das horas ocupadas.

Iniciativas usadas para aumentar a eficiência da edificação poderão ser contempladas com até um ponto na classificação geral a critério do GT Edificações. Para isso, deve ser justificada e comprovada a economia gerada. Exemplos de ações passíveis de bonificação: uso racional de água; aquecimento solar; fontes renováveis de energia; cogeração; inovações que promovam a eficiência energética.

As classificações final e parciais são apresentadas na ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia. Um edifício com classificações A nos três requisitos parciais: envoltória, iluminação e condicionamento de ar – estão em condições de obter o Selo Procel.

A Figura 4 ilustra modelos de etiqueta parciais e a Figura 5 mostra a etiqueta geral para edificações a serem certificadas pelo Inmetro.

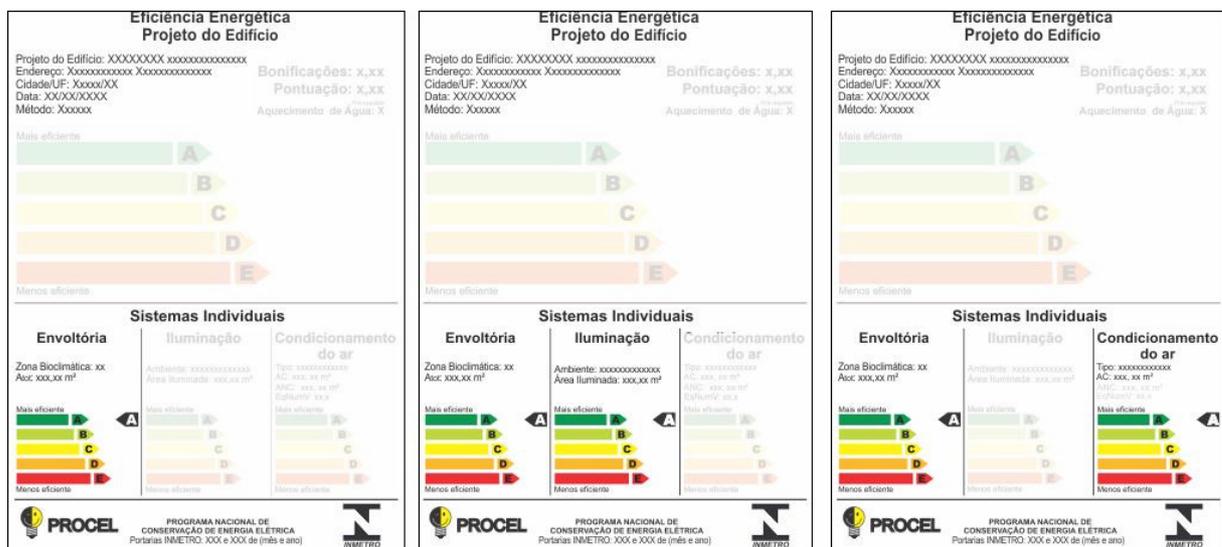


FIGURA 4 - MODELOS DE ETIQUETAS PARCIAIS PARA A CERTIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES

FONTE: LabEEE, 2011

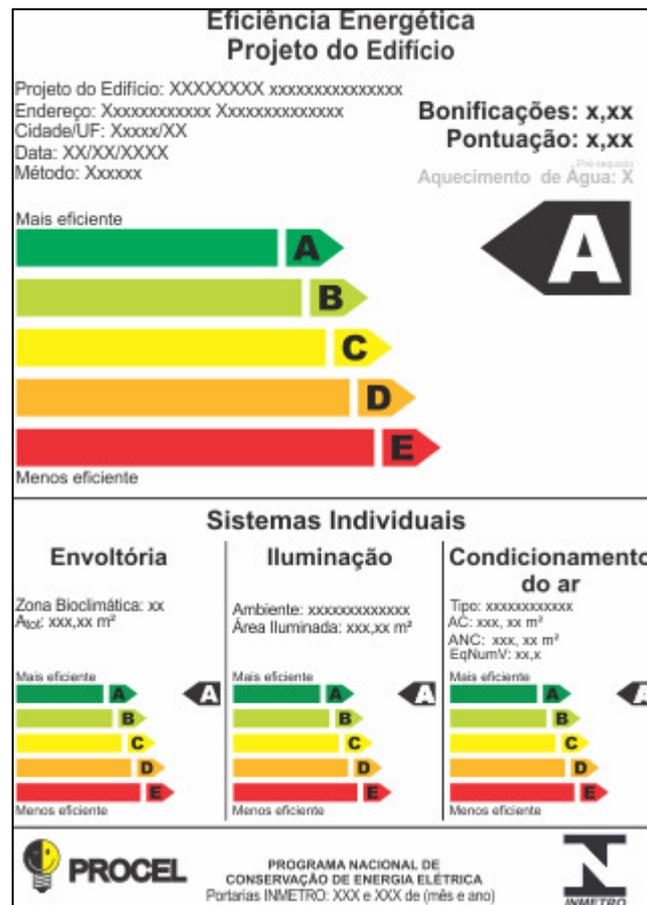


FIGURA 5 - MODELO DA ETIQUETA GERAL PARA A CERTIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES

FONTE: LabEEE, 2011

O Método Prescritivo do RTQ-C classifica o nível de eficiência energética de uma edificação por meio de uma pontuação geral, que por sua vez é baseada na análise de 3 itens – envoltória, sistemas de iluminação e sistema de ar condicionado.

O critério “envoltória” é um indicador de consumo referente à envoltória do edifício proposto. Deve ser calculado por fórmula que usa as seguintes variáveis: área de janelas; existência e dimensões de proteções solares; tipos de vidro; dimensões da edificação; zoneamento bioclimático brasileiro.

Após a obtenção do valor do indicador de consumo da envoltória (ICenv), o mesmo deve ser comparado a uma escala numérica dividida em intervalos que descrevem um nível de classificação de desempenho que varia de “A” a “E”.

A escala numérica da classificação de eficiência energética é variável e deve ser determinada para cada volumetria do edifício através dos parâmetros Fator Altura (FA) e

Fator de Forma (FF): razão entre a área de projeção do edifício e a área total de piso (A_{pe}/A_{tot}) e a razão entre a área da envoltória e o volume total (A_{env}/V_{tot}). Os demais parâmetros da equação são fornecidos.

O procedimento para a classificação consiste nas etapas descritas a seguir:

- a) Calcula-se o indicador de consumo por meio da equação IC_{env} com os dados do projeto do edifício.
- b) Calcula-se o limite máximo do indicador de consumo para aquela volumetria, $IC_{máxD}$, por meio da mesma equação, mas com os parâmetros de entrada fornecidos pela Tabela 2; o $IC_{máxD}$ representa o indicador máximo que a edificação deve atingir para obter a classificação “D”, acima deste valor a edificação passa a ser classificada com o nível “E”.

TABELA 2 - PARÂMETROS DO $IC_{MÁXD}$

PAFT	FS	AVS	AHS
0,60	0,61	0	0

FONTE: INMETRO, 2010

- c) Calcula-se o limite mínimo $IC_{mín}$ por meio da equação, com os parâmetros de entrada fornecidos pela Tabela 3, o $IC_{mín}$ representa o indicador de consumo mínimo para aquela volumetria.

TABELA 3 - PARÂMETROS DO $IC_{MÍN}$

PAFT	FS	AVS	AHS
0,05	0,87	0	0

FONTE: INMETRO, 2010

- d) Os limites $IC_{máxD}$ e $IC_{mín}$ representam o intervalo dentro do qual a edificação proposta deve se inserir. O intervalo é dividido em 4 partes (i), cada parte se refere a um nível de classificação numa escala de desempenho que varia de “A” a “E”. A subdivisão i do intervalo é calculada pela fórmula $i = (IC_{máxD} - IC_{mín}) / 4$.

e) Com o valor de i calculado, preenche-se a seguinte Tabela 4.

TABELA 4 - LIMITES DOS INTERVALOS PARA A CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA

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

FONTE: INMETRO, 2010

f) Compara-se o IC_{env} (a) obtido com os limites da Tabela 4 e assim, identifica-se o nível de eficiência energética do projeto em questão.

A eficiência da iluminação é determinada calculando a densidade de potência instalada pela iluminação interna, de acordo com as diferentes atividades exercidas pelos usuários de cada ambiente. Para a determinação da iluminação adequada a cada atividade, o RTQ-C segue a norma NBR 5413. Calcula-se a potência instalada de iluminação, a iluminância de projeto e a iluminância gerada pelo sistema para determinação da eficiência. Quanto menor a potência utilizada, menor é a energia consumida e mais eficiente é o sistema, desde que garantidas as condições adequadas de iluminação. Este item deve ser avaliado por ambiente, uma vez que estes podem ter diferentes usos e, portanto, distintas necessidades de iluminação.

O critério “Condicionamento de Ar” utiliza classificação baseada no Programa Nacional de Etiquetagem do Inmetro (aparelhos de janela e split) ou na eficiência dos resfriadores de líquido para sistemas centrais baseada na ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers*).

O nível de classificação de cada requisito equivale a um número de pontos correspondentes, assim atribuídos:

TABELA 5 - EQUIVALENTE NUMÉRICO PARA CADA NÍVEL DE EFICIÊNCIA - EQNUM

Nível de Eficiência	EqNum
A	5
B	4
C	3
D	2
E	1

FONTE: INMETRO, 2010.

Terminado o cálculo da eficiência destes três sistemas (envoltória, iluminação e condicionamento de ar), os resultados parciais são inseridos na equação geral para verificar o nível de eficiência global da edificação. Portanto, a classificação geral do edifício é calculada de acordo com a distribuição dos pesos através da Equação 1:

$$PT = 0,30 \cdot \left\{ \left(EqNumEnv \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 0,5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right\} + 0,30 \cdot (EqNumDPI) + 0,40 \cdot \left\{ \left(EqNumCA \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 0,5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right\} + b \cdot 1_0$$

Eq. 1

onde:

- PT é a pontuação total da edificação;
- EqNumEnv é o equivalente numérico da envoltória;
- EqNumDPI é o equivalente numérico do sistema de iluminação, identificado pela sigla DPI;
- EqNumCA é o equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar;
- EqNumV: equivalente numérico de ambientes não condicionados e/ou ventilados naturalmente;
- APT: área útil dos ambientes de permanência transitória, desde que não condicionados;
- ANC é a área de piso dos ambientes não condicionados de permanência prolongada;
- AC é a área de piso dos ambientes condicionados;
- AU é a área útil;
- b: pontuação obtida pelas bonificações, que varia de zero a 1.

Os equivalentes numéricos para os níveis de eficiência de cada requisito são obtidos na Tabela 2.1. do RTQ-C. O nível de eficiência do requisito envoltória das áreas condicionadas é definido de acordo com o item 3; o nível de eficiência do sistema de iluminação (DPI) é definido no item 4; e o nível de eficiência do sistema de condicionamento de ar (CA) é definido no item 5 do RTQ-C.

O número de pontos obtidos na equação acima irá definir a classificação geral da edificação:

TABELA 6 - CLASSIFICAÇÃO GERAL

PT	Classificação Final
$\geq 4,5$	A
$3,5 \leq PT < 4,5$	B
$2,5 \leq PT < 3,5$	C
$1,5 \leq PT < 2,5$	D
$< 1,5$	E

FONTE: INMETRO, 2010.

No entanto, o cálculo dos três diferentes níveis de eficiência parciais e do nível geral de eficiência podem ser alterados tanto por bonificações, que podem elevar a eficiência, quanto por pré-requisitos que, se não cumpridos, reduzem esses níveis. As bonificações são bônus de pontuação (até 1 ponto na classificação geral) que visam incentivar o uso de energia solar para aquecimento de água, uso racional de água, cogeração, dentre outros, mas sem a obrigatoriedade de constarem no edifício. Já os pré-requisitos referem-se a cada sistema em particular, e também ao edifício por completo, e seu cumprimento é obrigatório.

2.4.3 Zonas bioclimáticas

A vasta extensão territorial do Brasil implica em uma diversidade de climas que evidencia a necessidade da identificação de suas principais zonas bioclimáticas e da formulação de diretrizes de projeto para cada uma delas. Roriz et al. (2001) propuseram um zoneamento bioclimático para a arquitetura no Brasil, no âmbito da ABNT (Associação

Brasileira de Normas Técnicas) como parte de um projeto de normalização sobre desempenho térmico de habitações populares (NBR 15220). O território brasileiro foi dividido em 8 zonas bioclimáticas relativamente homogêneas quanto ao clima, através de uma metodologia baseada em dados climáticos medidos ou estimados por meio de interpolação. A Figura 6 mostra a divisão do território brasileiro nas 8 zonas bioclimáticas definidas na NBR 15220 – Parte 3.

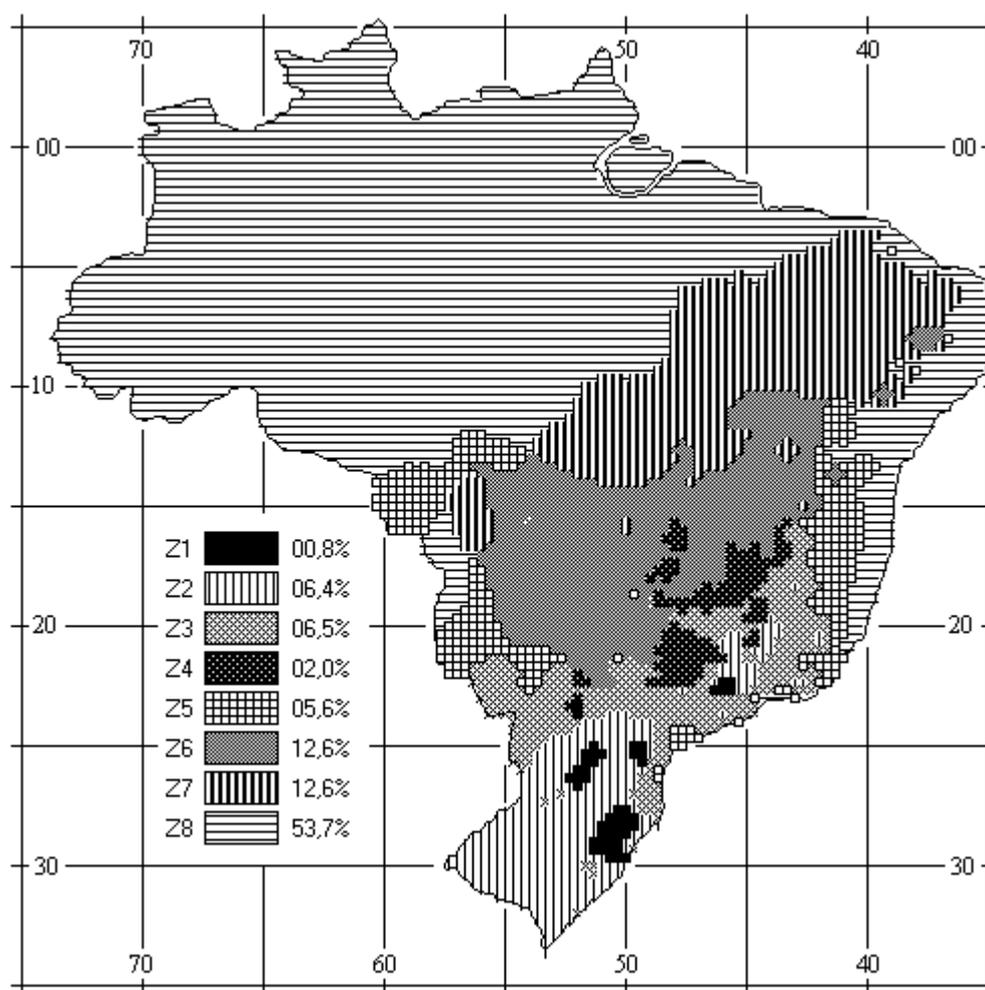


FIGURA 6 - ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO

FONTE: NBR 15220 – Parte 3. ABNT, 2003.

Para cada uma destas zonas, formulou-se um conjunto de recomendações técnicas e construtivas que aperfeiçoam o desempenho térmico das edificações, para a sua melhor adequação climática, com a adaptação de uma Carta Bioclimática (Figura 7) a partir da sugerida por Givoni (GIVONI, 1992). Sobre esta carta, foram registrados e classificados os climas de cada ponto do território brasileiro.

A NBR 15220 – Parte 3 apresenta uma metodologia aplicável na fase de projeto para a avaliação do desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social, ao mesmo tempo em que, estabelecendo um Zoneamento Bioclimático Brasileiro, traz recomendações de diretrizes construtivas e detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo, com base em parâmetros e condições de contorno fixados.

Para a formulação das diretrizes construtivas para cada Zona Bioclimática Brasileira e para o estabelecimento das estratégias de condicionamento térmico passivo, foram considerados os parâmetros e condições de contorno seguintes:

- tamanho das aberturas para ventilação;
- proteção das aberturas;
- vedações externas (tipo de parede externa e tipo de cobertura); e
- estratégias de condicionamento térmico passivo.

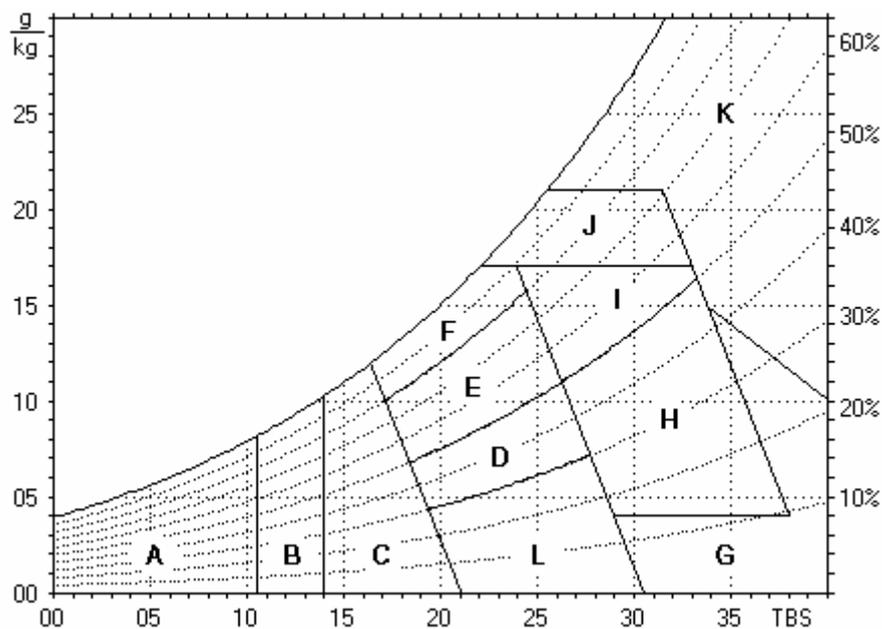


FIGURA 7 – CARTA BIOCLIMÁTICA ADAPTADA A PARTIR DA SUGERIDA POR GIVONI
 FONTE: NBR 15220 – Parte 3. ABNT, 2003.

3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a definição do projeto padrão a ser analisado com os parâmetros adotados com seus respectivos valores, o detalhamento do Método Prescritivo do RTQ-C e a ferramenta computacional a ser utilizada para a verificação do potencial de economia de energia do sistema de ar condicionado entre o projeto padrão e o projeto com as alterações propostas. A Figura 8 mostra o fluxograma das atividades para a análise da eficiência energética do projeto padrão.

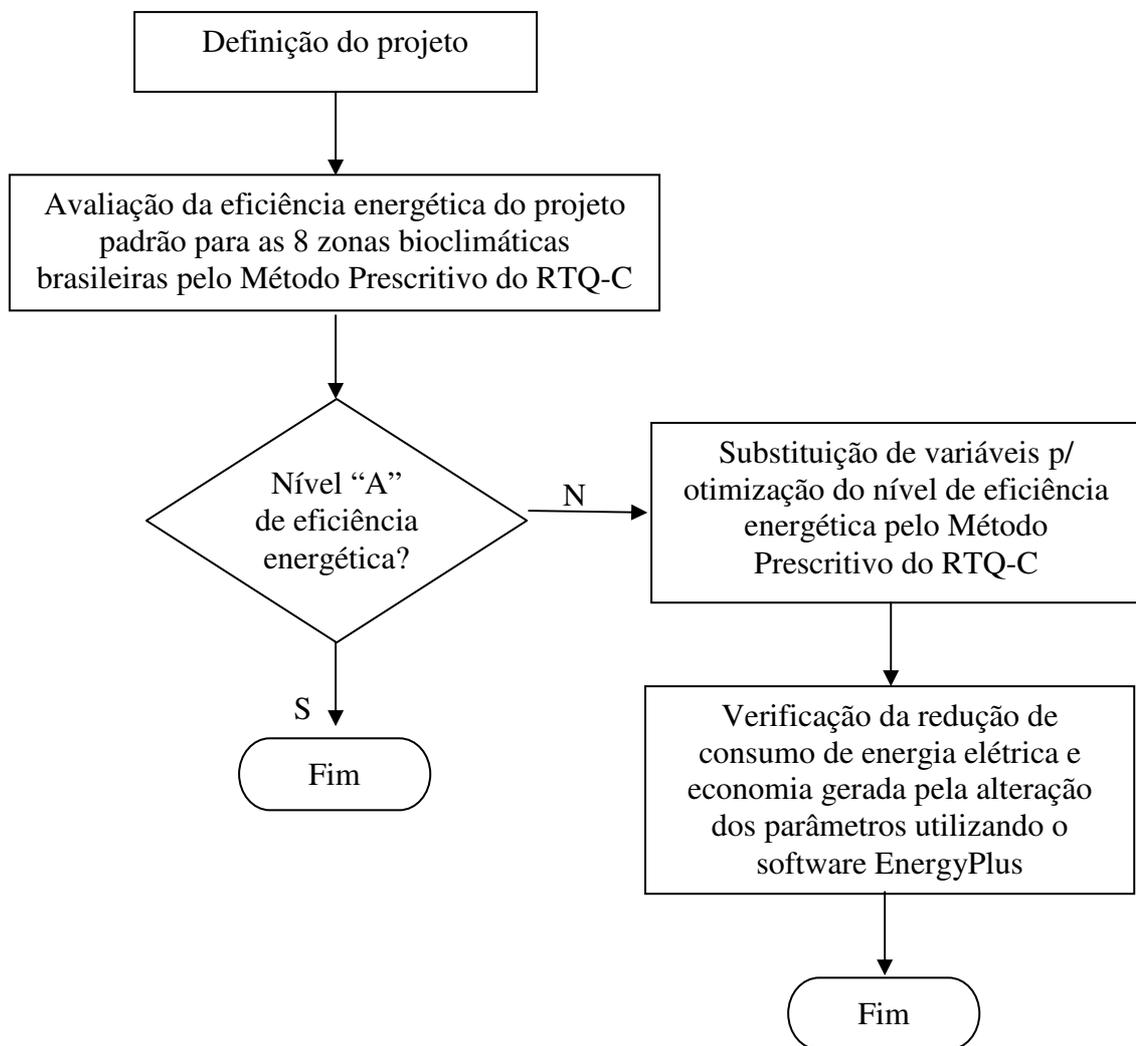


FIGURA 8 – FLUXOGRAMA DAS ATIVIDADES PARA ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO PROJETO PADRÃO

FONTE: Autoria própria

3.1 DESCRIÇÃO DO OBJETO DO ESTUDO

As tipologias arquitetônicas utilizadas nesta pesquisa foram baseadas em um dos projetos padronizados de uma agência de um banco brasileiro, com presença em todo o território nacional.

Trata-se de um projeto padrão que pode ser implantado em qualquer localidade brasileira, necessitando-se de um terreno com dimensões mínimas de 40 metros por 20 metros (800 m²). Essa agência padrão possui área construída total de 565,72 m², em pavimento único.

A fachada principal (elevação frontal) do projeto possui a maior área envidraçada quando comparada às demais elevações (lateral esquerda e posterior). Já a elevação lateral direita fica junto à divisa (limite do terreno), não possuindo aberturas externas. A Figura 9 mostra a maquete eletrônica da fachada principal da agência padrão.



FIGURA 9 – MAQUETE ELETRÔNICA DA FACHADA PRINCIPAL DA AGÊNCIA BANCÁRIA
FONTE: Adaptado pelo autor.

3.1.1 Implantação do projeto padrão de acordo com a orientação solar da fachada principal

Para o estudo foram adotadas 4 possibilidades de implantação de projeto, de acordo com a orientação solar da fachada principal (a qual possui maior área de aberturas envidraçadas), conforme mostrado na Figura 10.



FIGURA 10 – IMPLANTAÇÃO DO PROJETO PADRÃO DE ACORDO COM A ORIENTAÇÃO SOLAR DA ELEVAÇÃO FRONTAL

FONTE: Adaptado pelo autor.

As equações para classificação do nível de eficiência energética da envoltória utilizada no Método Prescritivo do RTQ-C utilizam variáveis que dependem da forma da edificação (área total construída, volumetria, altura) e também outras variáveis que podem ser alteradas pelo projetista (área de vidros, fator solar, sombreamentos horizontais e verticais) que são influenciadas diretamente pelas características bioclimáticas da região.

Para o projeto padrão, foram levantados os seguintes dados:

- área de fachadas e da cobertura (envoltória da edificação);
- área de projeção da cobertura;

- área de projeção da edificação;
- volume total da edificação;
- área de piso;
- área de aberturas envidraçadas;
- percentual de abertura das fachadas;
- orientação solar das fachadas;
- fator solar das aberturas envidraçadas;
- ângulos de sombreamento (proteções solares verticais e horizontais);
- localização (zoneamento bioclimático brasileiro).

Para o projeto padrão, foram adotados os seguintes valores apresentados nas tabelas 8 a 17 para utilização nas equações de cálculo do Indicador de Consumo da envoltória (ICEnv).

A Tabela 7 apresenta os valores das áreas da edificação (total, útil, condicionada, de permanência transitória não condicionada, de ambientes não condicionados de permanência prolongada e de projeção do edifício). Nota-se que não há ambientes de permanência prolongada sem condicionamento de ar. Por se tratar de edificação térrea, a área de projeção da edificação é a mesma da área total.

TABELA 7 - ÁREAS DA EDIFICAÇÃO

Atot (m ²) - área total de piso - medido externamente	Área útil (m ²) - AU (interno paredes)	AC - Área condicionada (m ²)	APT - Área de permanência transitória - não condicionada (m ²)	ANC - Área de ambientes não condicionados de permanência prolongada (m ²)	Ape (m ²) - área de projeção do edifício
565,72	532,20	413,33	118,87	0,00	565,72

FONTE: Autoria própria

A Tabela 8 mostra a área útil (medida internamente aos ambientes), a área condicionada e a área de permanência transitória não condicionada.

Por se tratar de ambiente confinado devido à natureza da edificação (agência bancária), todos os ambientes de permanência prolongada são condicionados artificialmente. Somente os ambientes de permanência transitória não possuem condicionamento de ar artificial (corredores, sanitários, copa, depósito, almoxarifado, arquivo).

TABELA 8 - ÁREA CONDICIONADA E ÁREA DE PERMANÊNCIA TRANSITÓRIA EM RELAÇÃO À ÁREA ÚTIL DA EDIFICAÇÃO

Área útil (m ²) - AU (interno paredes)	AC - Área condicionada (m ²)	APT - Área de permanência transitória - não condicionada (m ²)	AC/AU	APT/AU
532,20	413,33	118,87	0,777	0,223

FONTE: Autoria própria

A Tabela 9 apresenta o volume total da edificação, que é obtido somando-se o volume do térreo (área total do pavimento multiplicada pela altura do pé-direito) e o volume da cobertura (área da seção transversal da cobertura multiplicada pelo comprimento do telhado, descontando-se o volume da laje técnica).

TABELA 9 - VOLUME TOTAL DA EDIFICAÇÃO

Térreo (m ³)	Cobertura (m ³)	Vtot (m ³) – volume total
2.772,03	537,75	3.309,78

FONTE: Autoria própria

A Tabela 10 mostra a área das paredes externas de cada elevação, assim como a área de aberturas envidraçadas em cada uma das elevações.

TABELA 10 - ÁREA DAS PAREDES EXTERNAS

Elevação	Área total (m ²)	Área de vidros (m ²)	PAF (%) percentual de área de abertura da fachada
Frontal	115,35	31,04	26,91
Lateral	207,87	18,06	8,69
Posterior	115,35	3,70	3,21
Divisa	207,87	0,00	0,00
Total	646,44	52,80	8,17

FONTE: Autoria própria

A Tabela 11 apresenta a área total da envoltória e suas duas componentes (a área das paredes externas e a área da cobertura), para utilização no cálculo do fator de forma (FF).

TABELA 11 - ÁREA DA ENVOLTÓRIA

Área das paredes externas (m ²)	Área da cobertura (m ²)	Área total da envoltória (m ²)
646,44	569,27	1.215,72

FONTE: Autoria própria

A Tabela 12 mostra o Fator de Forma (FF) do projeto padrão. O FF é adimensional (para aplicação nas equações do ICEnv), sendo obtido pela relação entre a área total da envoltória e o volume total da edificação.

TABELA 12 - FATOR DE FORMA

Aenv - área total da envoltória (m ²)	Vtot – volume total da edificação (m ³)	FF – Fator de Forma (Aenv/Vtot)
1.215,72	3.309,78	0,3673

FONTE: Autoria própria

A Tabela 13 mostra o Fator Altura (FA) do projeto padrão. O FA também é adimensional, sendo obtido pela relação entre a área de projeção da cobertura edificação e a área total construída.

TABELA 13 - FATOR ALTURA

Apcob - área de projeção da cobertura (m ²)	Atot – área total (m ²)	FA – Fator Altura (Apcob/Atot)
565,72	565,72	1,0000

FONTE: Autoria própria

Para cada zona bioclimática, de acordo com o RTQ-C, há duas equações para o cálculo do índice de eficiência energética da envoltória da edificação, que devem ser utilizadas em função da área de projeção da edificação (até 500 m² ou superior a esta área). Também para cada equação devem ser respeitados os valores do fator de forma (FF) - máximo para área de projeção menor que 500 m² e mínimo para áreas de projeção maiores que 500 m².

No caso do projeto padrão analisado, foram utilizadas as equações para edificações com área de projeção maior que 500 m². O fator de forma adotado nas equações foi de 0,3673, pois é maior que os fatores de forma mínimos definidos no RTQ-C. O fator altura adotado é 1,00, pois a edificação é térrea.

A Tabela 14 mostra os valores dos componentes das variáveis arquitetônicas que influenciam nas aberturas envidraçadas para o projeto padrão. O fator solar dos vidros é a média ponderada dos valores de fator solar de cada tipo de vidro em função da área ocupada

por essas aberturas envidraçadas. À exceção dos vidros da elevação frontal (laminados) e das janelas do salão de atendimento, os demais possuem FS igual a 0,87 (vidro comum tipo cristal). Já os ângulos de sombreamento verticais (AVS) e horizontais (AHS) foram calculados em função dos elementos arquitetônicos que proporcionam sombreamento das aberturas envidraçadas, tais como brises, marquises e recuos.

TABELA 14 - PARÂMETROS DAS ABERTURAS ENVIDRAÇADAS

FS – fator solar dos vidros	AVS (°) – ângulo vertical de sombreamento	AHS (°) – ângulo horizontal de sombreamento
0,60	37,48	18,47

FONTE: Autoria própria

De acordo com o RTQ-C, na equação para o cálculo do ICenv (Índice de Consumo da Envoltória), o Percentual de Área de Abertura na Fachada total (PAF_T) corresponde a um valor médio representativo do percentual de aberturas de todas as fachadas. Para o uso deste valor, primeiramente deve-se realizar o cálculo do PAF para a fachada oeste (PAF_O) e em seguida o PAF_T . Se o PAF_O for pelo menos 20% maior que o PAF_T , deve-se adotar o PAF_O na equação.

Para o projeto padrão em análise, o PAF_O é maior que o PAF_T em 20% apenas para a implantação onde a fachada principal é voltada para a face oeste, conforme demonstrado na Tabela 15.

TABELA 15 - PERCENTUAL DE ÁREA DE ABERTURA DAS FACHADAS DE ACORDO COM A ORIENTAÇÃO SOLAR DA ELEVAÇÃO FRONTAL

Orientação solar da elevação frontal	PAF_T	PAF_O	$PAF_T+20\%$	PAF_T eq.
Norte	9,83%	0,00%	11,80%	9,83%
Leste	9,83%	4,02%	11,80%	9,83%
Sul	9,83%	10,72%	11,80%	9,83%
Oeste	9,83%	28,89%	11,80%	28,89%

FONTE: Autoria própria

Portanto, nas equações para a análise da envoltória, o PAF_T utilizado deve ser de acordo com a Tabela 16.

TABELA 16 - PERCENTUAL DE ÁREA DE ABERTURA DAS FACHADAS A SER UTILIZADO NAS EQUAÇÕES DO ICENV PARA CADA TIPOLOGIA DO PROJETO PADRÃO

Orientação solar da fachada principal	PAF _T eq.
Norte	9,83%
Leste	9,83%
Sul	9,83%
Oeste	28,89%

FONTE: Autoria própria

3.1.2 Materiais e sistema construtivo

O sistema construtivo adotado no projeto padrão é baseado na tecnologia “*steel frame*”, com boa parte de materiais industrializados. O objetivo da utilização dessa tecnologia é o ganho de tempo para a implantação de novas unidades, aliado à padronização dos materiais utilizados, reduzindo futuramente os custos com manutenção dos imóveis. Nesse projeto padrão também são utilizados materiais industrializados para os fechamentos das paredes externas, tais como placas e telhas isotérmicas. A Figura 11 mostra o sistema de montagem da estrutura “*steel frame*”.



FIGURA 11 – SISTEMA CONSTRUTIVO “STEEL FRAME”

FONTE: AL Sistemas Construtivos, 2011

A Figura 12 mostra o detalhe das camadas componentes das paredes externas.

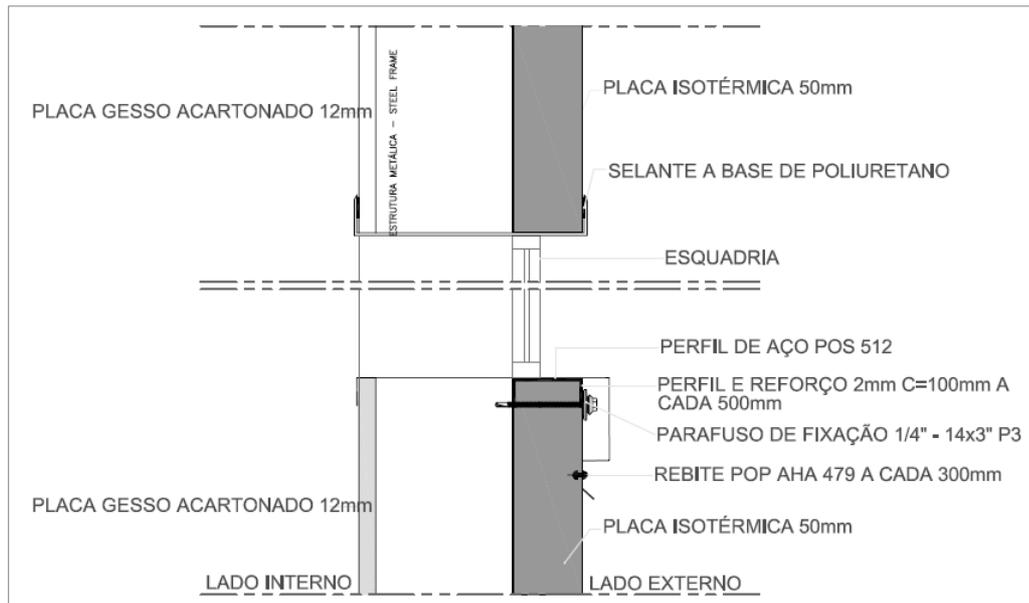


FIGURA 12 – DETALHE DAS CAMADAS COMPONENTES DAS PAREDES EXTERNAS

FONTE: Adaptado pelo autor.

A Tabela 17 apresenta os valores utilizados para a determinação da resistência térmica total do tipo de fechamento utilizado para as paredes externas do projeto padrão da agência bancária. A resistência térmica (R_t) é obtida pela relação entre a espessura da camada (e) e a condutividade térmica do material (λ). Os valores das resistências superficiais externa e interna, assim como a da câmara de ar não ventilada, foram obtidas das tabelas A.1 e B.1 da NBR 15220 – Parte 2, respectivamente.

TABELA 17 - VALORES UTILIZADOS PARA DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL DAS PAREDES EXTERNAS DO PROJETO PADRÃO

Camada	Descrição	e (m).	λ ((W/(m.K))	R_t ((m ² .K/W)).
R_{se}	Resistência superficial externa – fluxo horizontal	-	-	0,040
R_{t1}	Placa tipo “termowall” de poliuretano 50 mm	0,050	0,030	1,667
R_{t2}	Câmara de ar não ventilada, superfície de alta emissividade	0,095	-	0,170
R_{t3}	Placa tipo gesso acartonado 12 mm	0,012	0,350	0,130
R_{si}	Resistência superficial interna – fluxo horizontal	-	-	0,130
R_{par}	Resistência térmica total da parede externa	-	-	2,041

FONTE: Autoria própria

Sendo que a transmitância térmica é o inverso da resistência térmica, tem-se que o valor da transmitância térmica calculado para as paredes externas do projeto padrão da agência bancária é $U_{\text{par}} = 0,490 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$.

Em relação às cores das paredes, externamente a agência possui cores claras, com absorptância solar média de $\alpha_{\text{par}} = 0,23$, ou seja, abaixo de 0,50 (ver Anexo B para mais detalhes do cálculo desse índice).

A cobertura da agência é composta telhado do tipo “sanduíche”, sendo a face externa uma chapa de aço tipo “galvalume” pré-pintada de branco, tendo logo abaixo uma camada com isolante térmico de poliuretano (referência “PUR”, fabricante Dânica) e a face inferior outra chapa de aço do tipo “galvalume”. O entreforro pode ser considerado com uma câmara de ar não ventilada (onde se situam as instalações elétricas não aparentes, assim como as tubulações de ar condicionado). Logo abaixo, há a instalação de forro do tipo fibra mineral (referência “Armstrong”, fabricante Hunter Douglas) com propriedades termoacústicas. Na paginação desse forro são embutidas as luminárias e também as saídas de ar do sistema de climatização artificial da agência.

A Figura 13 mostra o tipo de telha especificada para a cobertura. Já a Figura 14 mostra o tipo de forro mineral previsto no projeto padrão.



FIGURA 13 – TELHA TIPO SANDUÍCHE COM ISOLANTE TÉRMICO

FONTE: Catálogo Dânica.



FIGURA 14 – FORRO TIPO FIBRA MINERAL

FONTE: Arquivo pessoal.

A Tabela 18 apresenta os valores utilizados para a determinação da resistência térmica total da cobertura do projeto padrão da agência bancária. Os valores das resistências superficiais externa e interna, assim como a da câmara de ar não ventilada, foram obtidas das tabelas A.1 e B.1 da NBR 15220 – Parte 2, respectivamente.

TABELA 18 - VALORES UTILIZADOS PARA DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL DA COBERTURA DO PROJETO PADRÃO

Camada	Descrição	e (m).	λ ((W/(m.K))	Rt ((m ² .K/W)).
R _{se}	Resistência superficial externa – fluxo descendente	-	-	0,040
R _{t1}	Chapa metálica tipo “galvalume” pré-pintada cor branca	0,00050	38,146	1,311.E ⁻⁰⁵
R _{t2}	Isolante térmico tipo poliuretano (ref. PUR, fab. Dânica) 30 mm	0,030	0,01725	1,739
R _{t3}	Chapa metálica tipo “galvalume”	0,00043	38,146	1,127.E ⁻⁰⁵
R _{t4}	Câmara de ar não ventilada (entreforro)	-	-	0,21
R _{t5}	Forro mineral (ref. Armstrong, fab. Hunter Douglas) 10 mm	0,010	0,0720	0,139
R _{si}	Resistência superficial interna – fluxo descendente	-	-	0,10
R _{cob}	Resistência térmica total da cobertura	-	-	2,228

FONTE: Autoria própria

A transmitância térmica da cobertura também é obtida pelo inverso da resistência térmica. O valor da transmitância térmica calculado para a cobertura projeto padrão da agência bancária é $U_{cob} = 0,449 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$.

Em relação às cores da cobertura, a telha sanduíche possui na face externa uma chapa metálica tipo “galvalume” pré-pintada na cor branca. De acordo com a Tabela B.2 do Anexo B da NBR 15220 – Parte 2, tem-se o tipo de superfície descrita como “Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)”, sendo adotado então o valor de $\alpha_{cob} = 0,25$ para a absorptância média da cobertura do projeto padrão.

O RTQ-C estabelece pré-requisitos específicos para a envoltória, de acordo com o nível de eficiência energética pretendido. O Quadro 2 mostra resumidamente esses pré-requisitos, referentes aos valores máximos de transmitância térmica e absorptância solar das paredes externas e da cobertura, em função da zona bioclimática brasileira.

QUADRO 2 - RESUMO DOS PRÉ-REQUISITOS DE TRANSMITÂNCIA TÉRMICA E ABSORPTÂNCIA SOLAR PARA A ENVOLTÓRIA DE ACORDO COM NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PRETENDIDO

ZB	Nível A						Nível B					Níveis C e D		
	U_{cob} - cond artif ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)	U_{cob} - não cond artif ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)	U_{par} ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)	Capacidade térmica ($\text{kJ}/\text{m}^2\text{K}$)	α_{par}	α_{cob}	U_{cob} - cond artif ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)	U_{cob} - não cond artif ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)	U_{par} ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)	Capacidade térmica ($\text{kJ}/\text{m}^2\text{K}$)	α_{cob}	U_{cob} ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)	U_{par} ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)	Capacidade térmica ($\text{kJ}/\text{m}^2\text{K}$)
1	0,50	1,00	1,00	-	-	-	1,00	1,50	2,00	-	-	2,00	3,70	-
2	0,50	1,00	1,00	-	< 0,50	< 0,50	1,00	1,50	2,00	-	< 0,50	2,00	3,70	-
3	1,00	2,00	3,70	-	< 0,50	< 0,50	1,50	2,00	3,70	-	< 0,50	2,00	3,70	-
4	1,00	2,00	3,70	-	< 0,50	< 0,50	1,50	2,00	3,70	-	< 0,50	2,00	3,70	-
5	1,00	2,00	3,70	-	< 0,50	< 0,50	1,50	2,00	3,70	-	< 0,50	2,00	3,70	-
6	1,00	2,00	3,70	-	< 0,50	< 0,50	1,50	2,00	3,70	-	< 0,50	2,00	3,70	-
7	1,00	2,00	2,50	≤80	< 0,50	< 0,50	1,50	2,00	2,50	≤80	< 0,50	2,00	2,50	≤80
			3,70	>80	< 0,50	< 0,50	1,50		3,70	>80	< 0,50		3,70	>80
8	1,00	2,00	2,50	≤80	< 0,50	< 0,50	1,00	2,00	2,50	≤80	< 0,50	2,00	2,50	≤80
			3,70	>80	< 0,50	< 0,50			3,70	>80	< 0,50		3,70	>80

FONTE: INMETRO, 2010 (adaptado)

Os valores calculados de transmitância térmica das paredes externas $U_{par} = 0,490 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, transmitância térmica da cobertura $U_{cob} = 0,449 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, absorptância solar das paredes externas $\alpha_{par} = 0,23$ e absorptância solar da cobertura $\alpha_{cob} = 0,25$ atendem simultaneamente todos os pré-requisitos para o Nível A de eficiência energética da envoltória, para qualquer uma das 8 zonas bioclimáticas brasileiras.

3.1.3 Sistema de iluminação

O projeto luminotécnico do projeto padrão também é único, independente do local de instalação da agência bancária. Esse projeto foi elaborado de acordo com os Cadernos de Diretrizes Técnicas de Instalações Elétricas da instituição bancária, seguindo também as especificações técnicas dos materiais e equipamentos, incluindo lâmpadas, luminárias, reatores e quadros elétricos.

As luminárias utilizadas são do tipo de embutir, com corpo de aço e em alumínio polido de alta refletância e pureza, com aletas planas em chapa pintada, rendimento 80%, para duas lâmpadas fluorescentes tubulares de 28 watts (tipo T5), temperatura de cor 4000 K, com reator eletrônico de alto fator de potência, alimentado com tensão de 220 volts.

A Figura 15 mostra um dos modelos de luminária previstos para agência (referência FAC06-E228, fabricante Lumicenter).



FIGURA 15 - LUMINÁRIA PARA LÂMPADAS T5

FONTE: Lumicenter (2010)

A Figura 16 mostra um desenho esquemático do projeto luminotécnico do projeto padrão com a divisão de circuitos.

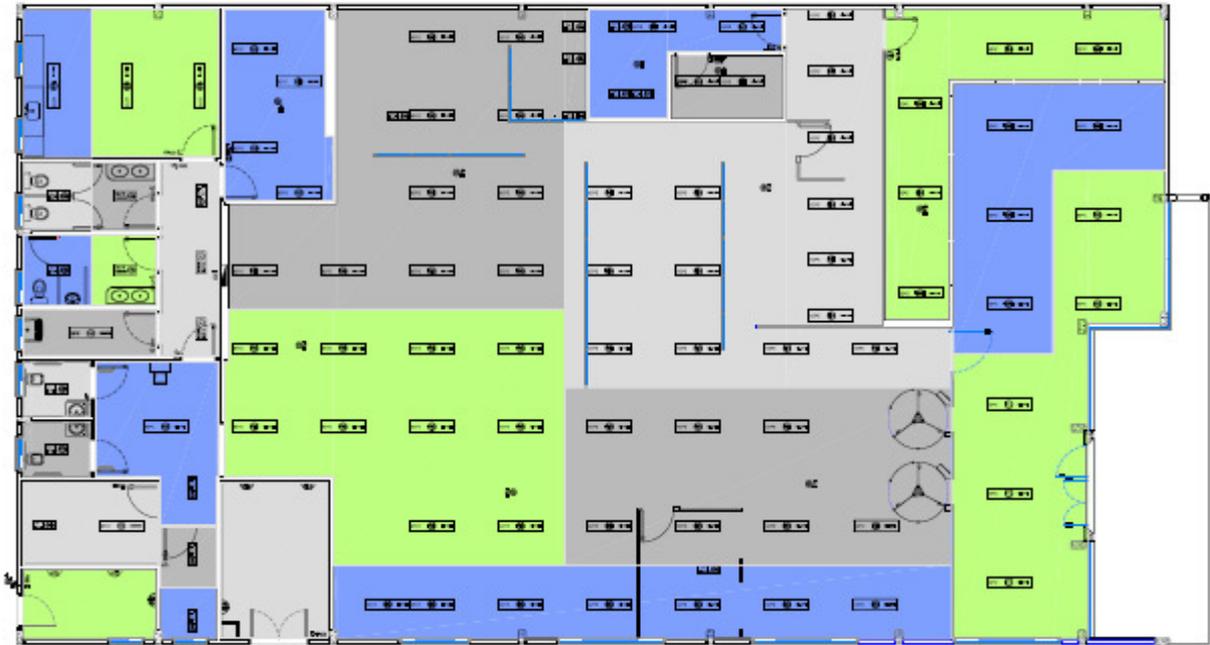


FIGURA 16 - PROJETO LUMINOTÉCNICO COM A SETORIZAÇÃO DAS ATIVIDADES

FONTE: Adaptado pelo autor

O Quadro 3 apresenta os ambientes internos da agência bancária, com as áreas internas e as cargas dos respectivos equipamentos do sistema de iluminação.

QUADRO 3 - QUADRO DE CARGAS DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

Item	Descrição	Tipo luminária	Potência luminária (W)	Qtde. luminárias	Potência total (W)	Área (m ²)	DPI (W/m ²)
1	Autoatendimento	T5 2x28	61	9	549	73,94	7,42
2	Manutenção	T5 2x14	30	7	210	27,26	7,70
3	Circulação restrita	T5 2x14	30	9	270	35,83	7,54
4	Circulação	T5 2x14	30	3	90	13,81	10,93
		T5 2x28	61	1	61		
5	Sala de segurança	T5 2x28	61	2	122	5,00	24,40
6	Sala técnica	T5 2x28	61	2	122	9,69	12,59
7	Arquivo técnico	T5 2x28	61	2	122	7,26	16,80
8	Depósito	T5 2x28	61	1	61	6,35	9,61
9	Almoxarifado	T5 2x28	61	1	61	8,13	7,50
10	Arquivo	T5 2x28	61	3	183	19,24	9,51
11	Sanitário feminino	T5 2x14	30	2	60	7,40	8,11
12	Sanitário masculino	T5 2x14	30	2	60	7,38	8,13
13	Depósito mat limpeza	T5 2x28	61	1	61	11,17	5,46
14	Depósito lixo	LED 2x5	10	2	20	8,45	2,37
15	Copa	T5 2x28	61	2	122	14,17	8,61
16	Casa de máquinas	LED 2x5	10	4	40	12,58	3,18
17	Sanitário acessível	T5 2x14	30	1	30	3,53	8,50
18	Salão de atendimento	T5 2x28	61	48	2.928	265,91	11,27
		T5 2x14	30	2	60		
		LED 2x5	10	1	10		
Total					5.242	537,10	9,76

FONTE: Autoria própria

Assim como a envoltória, o RTQ-C também exige o cumprimento de pré-requisitos para a classificação do sistema de iluminação de acordo com o nível de eficiência energética pretendido. O Quadro 4 mostra os três pré-requisitos e a classificação do nível de eficiência energética do sistema de iluminação.

QUADRO 4 - RESUMO DOS PRÉ-REQUISITOS DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DE ACORDO COM NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PRETENDIDO

Nível A	Nível B	Nível C
Divisão de circuitos	Divisão de circuitos	Divisão de circuitos
Contribuição da luz natural	Contribuição da luz natural	-
Desligamento automático	-	-

FONTE: INMETRO, 2010 (adaptado)

O projeto do sistema de iluminação previu a divisão de circuitos por tipo de atividade desenvolvida na agência, atendendo aos níveis recomendados pela NBR 5413 (Iluminância de Interiores). Os ambientes fechados (arquivo, almoxarifado, copa, sanitários, sala técnica) possuem comandos independentes por meio de interruptores instalados dentro desses compartimentos. No caso do salão de atendimento da agência, as luminárias são agrupadas de acordo com setores específicos (caixas, atendimento, área de espera do público), sendo possível o comando do sistema de iluminação quando houver diferentes padrões de ocupação desses espaços. Portanto, o projeto luminotécnico atende ao pré-requisito de divisão de circuitos.

Observa-se também na Figura 16 que as fileiras de luminárias situadas próximas às aberturas envidraçadas possuem comando independente, para possibilitar utilizar a iluminação natural sempre que possível. Portanto, o projeto luminotécnico também atende o pré-requisito de contribuição da luz natural.

Ainda como pré-requisito que foi atendido no projeto luminotécnico refere-se ao desligamento automático de áreas maiores que 250 m². O salão de atendimento possui sensores de presença interligados a um temporizador no quadro de iluminação, programado para desligar após o encerramento do expediente bancário normal (para o caso de algum usuário se esquecer de desligar as luminárias).

Dessa maneira, todos os pré-requisitos para a classificação do sistema de iluminação com o Nível A também foram cumpridos.

O RTQ-C prevê que a análise da eficiência energética do sistema de iluminação pode ser realizada por dois métodos: área ou atividades do edifício.

Para a análise da eficiência energética do projeto padrão, o sistema de iluminação foi avaliado pelo “método das atividades do edifício”. A função “agência bancária” não consta na Tabela 4.1 do RTQ-C. Nesse caso, foi escolhida a atividade “Prefeitura – Institutos Governamentais” como sendo equivalente, pois as atividades desenvolvidas na agência bancária envolvem basicamente a prestação de serviços e atendimento ao público.

A Tabela 19 define o limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPIL) para o nível de eficiência pretendido pelo método da área do edifício.

TABELA 19 - LIMITE MÁXIMO ACEITÁVEL DE DENSIDADE DE POTÊNCIA DE ILUMINAÇÃO (DPI_L) PARA O NÍVEL DE EFICIÊNCIA PRETENDIDO PELO MÉTODO DA ÁREA DO EDIFÍCIO

Função de edifício	Densidade de Potência de Iluminação limite (W/m ²) Nível A	Densidade de Potência de Iluminação limite (W/m ²) Nível B	Densidade de Potência de Iluminação limite (W/m ²) Nível C	Densidade de Potência de Iluminação limite (W/m ²) Nível D
Prefeitura – Inst. Gov	9,9	11,4	12,9	14,4

FONTE: INMETRO, 2010 (adaptado)

Como a área iluminada da agência bancária é de 537,10 m², tem-se os seguintes valores de potência de iluminação máxima (W) para cada um dos níveis de eficiência energética pretendidos, conforme a Tabela 20.

TABELA 20 - POTÊNCIA DE ILUMINAÇÃO MÁXIMA PARA O NÍVEL DE EFICIÊNCIA DO PROJETO PADRÃO PELO MÉTODO DA ÁREA DO EDIFÍCIO

Nível A	Nível B	Nível C	Nível D
5.317 W	6.123 W	6.929 W	7.734 W

FONTE: A autoria própria.

De acordo com o Quadro 3, a potência de iluminação total é de 5.242 W (DPI = 9,76 W/m²), ou seja, é menor que 5.317 W (DPI = 9,9 W/m²), sendo que o sistema de iluminação do projeto padrão é classificado com o **Nível A** de eficiência energética (EqNumDPI = 5).

3.1.4 Sistema de ar condicionado

O projeto do sistema de ar condicionado do projeto padrão também é único, independente do local de instalação da agência bancária. Esse projeto foi elaborado de acordo com os Cadernos de Diretrizes Técnicas de Instalações de Climatização da instituição bancária. Por se tratar de ambiente confinado, há a necessidade de um sistema de climatização

artificial, que além de proporcionar o conforto ambiental dos usuários, também promova a qualidade da renovação do ar por meio da troca com o meio interno. A carga térmica do projeto padrão foi calculada de acordo com a NBR 16410, tendo-se como base a implantação da agência na cidade de Teresina, Estado do Piauí, localizada numa região próxima ao semi-árido nordestino (pior situação para as condições de verão). Ressalta-se que o atual padrão técnico da instituição bancária não prevê equipamentos de ciclo reverso (quente/frio), somente ventilação e resfriamento, mesmo para as regiões de clima predominantemente frio no inverno.

O sistema adotado foi a utilização de equipamentos de ar condicionado central do tipo “multi-split”, sendo 2 equipamentos de 15 TR’s cada, totalizando 30 TR’s. Para ambientes críticos (áreas de equipamentos) também foi prevista a instalação de equipamentos do tipo “mini-split” (redundantes), que também são utilizados nos horários estendidos (em que não há atendimento ao público).

O RTQ-C também possui pré-requisitos para a obtenção do Nível A do sistema de condicionamento de ar (proteção das unidades condensadoras, isolamento térmico para dutos de ar e condicionamento de ar por aquecimento artificial). O projeto padrão da agência bancária atende aos dois primeiros pré-requisitos, sendo que condicionamento de ar por aquecimento artificial não é aplicável na agência bancária.

O Método Prescritivo do RTQ-C avalia o sistema de condicionamento de ar de acordo com premissas da ASHRAE. No caso de sistemas centrais (não certificados pelo Inmetro), a classificação do equipamento é baseada em coeficientes de desempenho (energia térmica e energia elétrica).

No caso do projeto padrão, os dados da especificação técnica dos equipamentos centrais foram comparados com tabelas do RTQ-C em função do tipo de sistema de condicionamento de ar. Já os equipamentos do tipo “split” de até 5 TR’s foram comparados com tabelas de eficiência energética disponíveis no site do Inmetro (<http://www.inmetro.gov.br>).

A Figura 17 mostra as zonas térmicas do projeto do sistema de condicionamento de ar do projeto padrão.

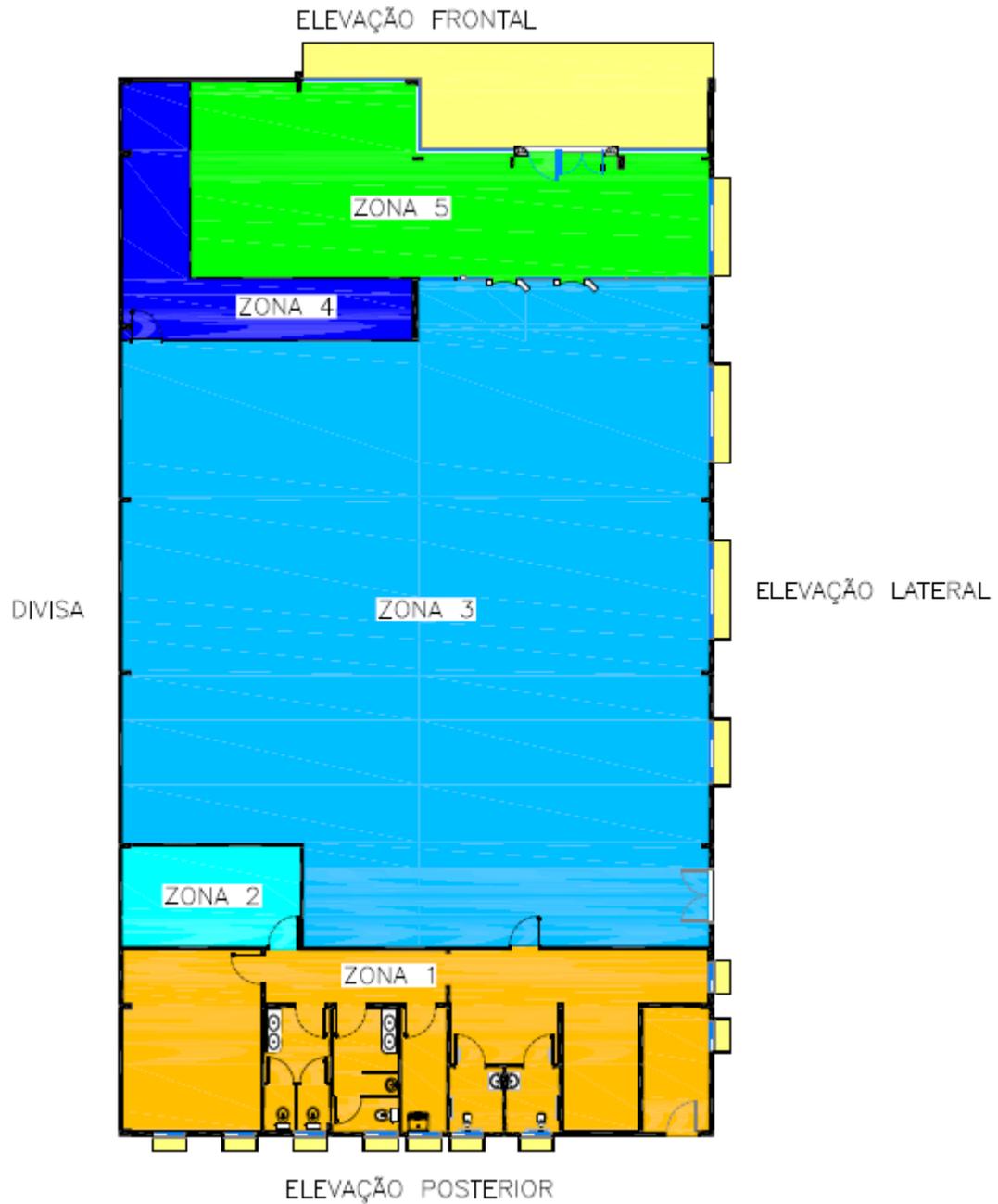


FIGURA 17 – ZONAS TÉRMICAS DO PROJETO DE CONDICIONAMENTO DE AR DO PROJETO PADRÃO

FONTE: Adaptado pelo autor

O Quadro 5 apresenta os equipamentos de ar condicionado previstos no projeto padrão da agência bancária, assim como a classificação do nível de eficiência energética dos equipamentos de acordo com o RTQ-C.

QUADRO 5 - EQUIPAMENTOS DE AR CONDICIONADO DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL DO PROJETO PADRÃO

Dados dos equipamentos de condicionamento de ar										Tabelas eficiência mín. RTQ-C			Classificação equipamento	Equivalente numérico	EqNumCA edifício	Classificação edifício
Referência	Equipamento	Fabricante	Modelo	Capacidade frigorífica (BTU/h)	Capacidade frigorífica (TR)	Capacidade frigorífica (kW)	Potência (kW)	COP calculado	Capacidade frigorífica (faixa)	Nível A e B (Tab. 5.4)	Nível C (Tab. 5.7)	Nível D (Tab. 5.9)				
UE01+UC01	Condicionador tipo minisplit piso-teto	Carrier	42XQC036515LC + 38CCD036515MC	36,000	3,00	10,55	3,29	3,21	< 19 kW	PBE 12.02.2011			C	3	3,93	B
UE01+UC01	Condicionador tipo minisplit piso-teto	Carrier	42XQC036515LC + 38CCD036515MC	36,000	3,00	10,55	3,29	3,21	< 19 kW	PBE 12.02.2011			C	3		
UE03+UC03	Condicionador tipo minisplit (parede)	Carrier	42PFCA022515LC + 38KPCA022515MC	22,000	1,83	6,45	2,01	3,21	< 19 kW	PBE 12.02.2011			A	5		
UE04+UC04	Condicionador tipo minisplit (parede)	Carrier	42PFCA018515LC + 38KCA018515MC	18,000	1,50	5,27	1,65	3,21	< 19 kW	PBE 12.02.2011			A	5		
UE05+UC05	Condicionador tipo self-contained com condensador a ar remoto	Carrier	40BZA16226TP + 40BVA16226VS	180,000	15,00	52,74	16,40	3,22	≥ 40 e < 70 kW	3,16 COP	2,78 COP	2,494COP	B	4		
UE05+UC05	Condicionador tipo self-contained com condensador a ar remoto	Carrier	40BZA16226TP + 40BVA16226VS	180,000	15,00	52,74	16,40	3,22	≥ 40 e < 70 kW	3,16 COP	2,78 COP	2,494COP	B	4		

FONTE: Adaptado pelo autor

De acordo com o Quadro 5, os equipamentos certificados pelo Inmetro (mini-splits) possuem o Nível A e Nível C. Já os equipamentos centrais possuem o COP (coeficiente de performance) elegíveis para a obtenção do Nível A, mas para isso é necessário o cumprimento de outros pré-requisitos. A avaliação do nível de eficiência do sistema de condicionamento de ar do edifício é obtido pela ponderação dos equivalentes numéricos em função da capacidade dos respectivos equipamentos. Para o projeto padrão, o equivalente numérico do sistema de ar condicionado é EqNumCA = 3,93, sendo classificado com o **Nível B** de eficiência energética.

3.1.5 Bonificação com o uso racional de água

No caso do projeto padrão analisado, é possível obter a bonificação devido ao uso racional da água (sistema de aproveitamento de águas pluviais e utilização de dispositivos economizadores, como aeradores nas torneiras, bacias acopladas com duplo fluxo, etc.). Para obtenção da bonificação integral, deve haver a comprovação de uma economia mínima de

40% no consumo anual de água da edificação, considerando práticas correntes de dimensionamento.

Para efeitos de cálculo na equação da pontuação geral (Equação 1), não será considerada a possível utilização dessa bonificação, pois existe dificuldade em estimar as economias de água tratada considerando que os regimes de chuvas são bastante heterogêneos, mesmo para uma mesma zona bioclimática. Nesse caso, $b = 0$.

3.1.6 Parâmetros fixos e variáveis

Para a classificação da eficiência energética do projeto padrão em suas diferentes tipologias de implantação, os seguintes parâmetros foram considerados fixos:

- EqNumDPI = 5
- EqNumCA = 3,93
- $b = 0$

Ou seja, o único parâmetro que pode ser alterado é o equivalente numérico da envoltória (EqNumEnv), que depende das equações que definem os valores dos Índices de Consumo da Envoltória (ICEnv).

Para as equações do ICEnv, as seguintes variáveis foram consideradas com valores fixos:

- FA = 1,00 (a agência é térrea)
- FF = 0,3277 (relação numérica entre a área da envoltória e o volume da edificação)
- PAFT = 0,0983 (para implantação do projeto com a fachada frontal orientada para o Norte, Leste e Sul)
- PAFT = 0,2889 (para implantação do projeto com a fachada frontal orientada para o Oeste)

Já as variáveis FS, AVS e AHS podem ser alteradas (estratégias bioclimáticas para as aberturas envidraçadas), visando à otimização do projeto padrão com valores que tornem sua classificação energética mais eficiente.

3.2 LOCALIDADES SELECIONADAS PARA A ANÁLISE

O nível de eficiência energética do projeto padrão foi avaliado considerando-se sua implantação em um município em cada uma das 8 zonas bioclimáticas brasileiras. No caso da simulação computacional, os arquivos climáticos no formato TRY (Test Reference Year) são os disponíveis no site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), no endereço <http://www.labeee.ufsc.br> e no site do EnergyPlus Energy Simulation Software - Weather Data, disponível em http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm.

O Quadro 6 mostra os municípios selecionados e o arquivo climático (quando disponível):

QUADRO 6 - MUNICÍPIOS SELECIONADOS PARA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO PROJETO PADRÃO

ZB	Município (exemplo)	Arquivo climático
1	Curitiba	BRA_Curitiba-Afonso.Pen_SWERA.zip
2	Santa Maria	BRA_Santa.Maria_SWERA.zip
3	São Paulo	BRA_Sao.Paulo-Congonhas_SWERA.zip
4	Brasília	BRA_Brasilia_SWERA.zip
5	Santos	Não disponível (EERE e LabEEE)
6	Goiânia	Não disponível (EERE e LabEEE)
7	Cuiabá	BRA_Cuiaba-Marechal.Ron_SWERA.zip
8	Salvador	BRA_Salvador_SWERA.zip

FONTE: NBR 15220 – Parte 3. ABNT, 2003 e LabEEE (<http://www.labeee.ufsc.br>)

3.3 TESTE DE VARIÁVEIS ARQUITETÔNICAS PARA ANÁLISE DA ENVOLTÓRIA

Nas situações em que a classificação do nível de eficiência energética da envoltória do projeto padrão não atingiu o “Nível A” (mais eficiente), foram avaliadas alterações nas variáveis em alguns parâmetros das equações do ICEnv para as diversas zonas bioclimáticas, tais como proteções solares externas (AVS e AHS) e características técnicas dos vidros (FS), os “parâmetros variáveis” conforme a seção 3.1.6, visando à melhoria da classificação do nível de eficiência energética.

Para a determinação dos valores otimizados, foi utilizada a ferramenta “Atingir Meta” do Microsoft Excel, tendo como valor a ser atingido o ICenv menor que o ICmín limite para a classificação com o Nível A, variando-se apenas um dos três parâmetros e mantendo-se as demais variáveis fixas.

3.4 FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Com a ferramenta EnergyPlus, foram simuladas as economias de energia do projeto otimizado em relação ao projeto padrão para cada uma das zonas bioclimáticas analisadas (onde não houve a classificação com o “Nível A”).

O programa Energyplus foi criado a partir da junção entre as melhores características de dois programas, BLAST e DOE-2, e desenvolvido em conjunto com: U.S. Army Construction Engineering Research Laboratories (CERL), University of Illinois (UI), Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), Oklahoma State University (OSU), GARD Analytics e Department of Energy (DOE) (CRAWLEY et al., 1999). O EnergyPlus trabalha com o balanço de calor do BLAST, com um modelo de ar condicionado genérico, novos algoritmos de transferência de calor e fluxo de ar entre zonas (CRAWLEY et al., 1999), enquanto o cálculo da iluminação natural deriva do programa DOE-2 (ENERGYPLUS, 2010).

O EnergyPlus estima o consumo de energia considerando as trocas térmicas da edificação com o exterior com base no clima e na caracterização do edifício ou da sala a ser estudada: desde a geometria, componentes construtivos, cargas instaladas, sistemas de condicionamento de ar e padrões de uso e ocupação (CRAWLEY, et al. 1999).

O programa ainda permite ao usuário solicitar relatórios com dados estimados durante o processo de simulação, incluindo temperatura interna de cada zona térmica, consumo de energia por uso final e carga térmica retirada pelo sistema de condicionamento de ar. Esta possibilidade ocorre devido à estrutura do programa composta pelo operador da simulação, módulo de simulação do balanço de calor, e módulo de simulação do sistema da edificação, conforme a Figura 18. Esta estrutura permite ainda, adicionar novas características ao modelo e fazer ligações com outros programas, como o Window 5 e o Slab, programa utilizado para o cálculo das temperaturas do solo. O Energyplus é bastante utilizado em pesquisas voltadas

para a avaliação da variação no consumo energético e desempenho térmico da edificação, no estudo da alteração de características da edificação, tais como: materiais, geometria, uso de equipamentos eficientes e orientação (RAMOS, 2009).

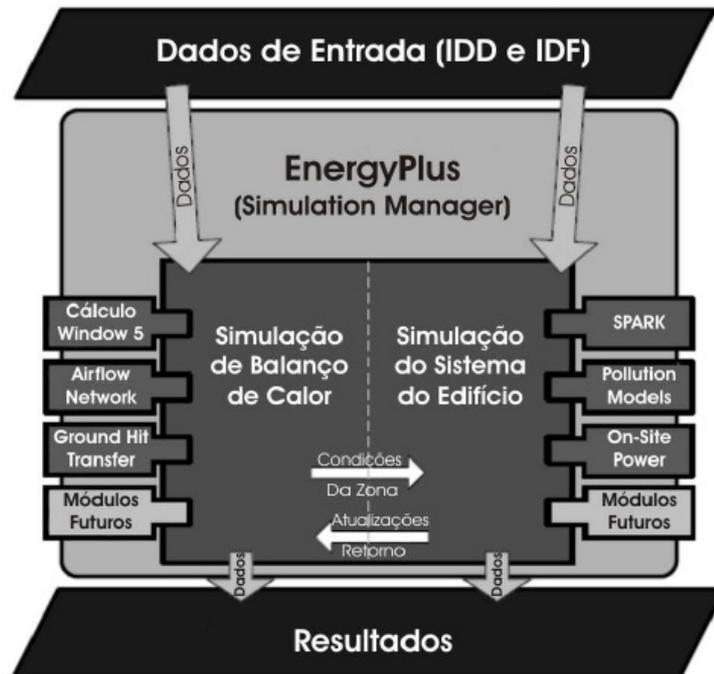


FIGURA 18 - ESTRUTURA DO PROGRAMA ENERGYPLUS

FONTE: EnergyPlus, 2006 (adaptado por RAMOS, 2009)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL POR MEIO DO MÉTODO PRESCRITIVO DO RTQ-C (SITUAÇÃO EXISTENTE)

Com base nos valores das variáveis arquitetônicas do projeto padrão, foram desenvolvidos os cálculos com a aplicação das equações e tabelas do Método Prescritivo do RTQ-C para as 8 zonas bioclimáticas brasileiras. Considerando-se que em cada zona bioclimática é possível construir a agência em terrenos com diferentes orientações solares da fachada principal, foram analisadas 32 situações possíveis de implantação do projeto padrão, com diferentes resultados para o desempenho energético da envoltória.

O detalhamento dos cálculos é apresentado no Anexo B. A Tabela 21 mostra a classificação do nível de eficiência energética da envoltória do projeto padrão de acordo com Método Prescritivo do RTQ-C para as 32 situações analisadas.

TABELA 21 - CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL EM DIFERENTES ZONAS BIOCLIMÁTICAS BRASILEIRAS DE ACORDO COM O MÉTODO PRESCRITIVO DO RTQ-C

Zoneamento bioclimático brasileiro	Orientação solar da fachada principal			
	Norte	Leste	Sul	Oeste
ZB-1	Nível A	Nível A	Nível A	Nível B
ZB-2	Nível A	Nível A	Nível A	Nível A
ZB-3	Nível A	Nível A	Nível A	Nível A
ZB-4	Nível A	Nível A	Nível A	Nível B
ZB-5	Nível A	Nível A	Nível A	Nível B
ZB-6	Nível A	Nível A	Nível A	Nível A
ZB-7	Nível B	Nível B	Nível B	Nível A
ZB-8	Nível A	Nível A	Nível A	Nível A

FONTE: Autoria própria.

De acordo com a Tabela 21, verifica-se que em 6 situações não foi atingido o Nível A de eficiência energética da envoltória do projeto padrão:

- ZB-1, com orientação da fachada principal para o Oeste;
- ZB-4, com orientação da fachada principal para o Oeste;
- ZB-5, com orientação da fachada principal para o Oeste;
- ZB-7, com a orientação da fachada principal para Norte;
- ZB-7, com a orientação da fachada principal para Leste;
- ZB-7, com a orientação da fachada principal para Sul.

4.2 PROPOSTAS DE DIRETRIZES PARA MELHORIA DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DA ENVOLTÓRIA DO PROJETO PADRÃO E OBTENÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COM O “NÍVEL A”

Para as situações em que a envoltória do projeto padrão não atingiu o Nível A de eficiência energética pelo Método Prescritivo do RTQ-C, foram propostas diretrizes para melhorar a classificação do desempenho energético da edificação.

As equações para avaliar o índice de consumo da envoltória (ICEnv) do Método Prescritivo do RTQ-C possuem as seguintes variáveis:

- FF (fator de forma)
- FA (fator altura)
- PAFT (percentual de aberturas das fachadas total)
- FS (fator solar médio das aberturas envidraçadas)
- AVS (ângulo vertical de sombreamento)
- AHS (ângulo horizontal de sombreamento)

As diretrizes propostas foram baseadas em algumas estratégias bioclimáticas em relação às aberturas envidraçadas, como a alteração dos ângulos de sombreamento (AVS e AHS) e características técnicas do vidro (FS), mas sem alteração da área das aberturas (PAFT). Nas equações, as variáveis FA e FF foram mantidas fixas, para não alterar a volumetria da edificação.

Para a determinação dos valores de FS, AVS e AHS que tornariam o ICEnv do projeto padrão menor que o valor do IC mínimo para o Nível A, utilizou-se a ferramenta “Atingir meta” do Microsoft Excel, variando-se apenas um dos três parâmetros e mantendo-se as demais variáveis fixas. A Figura 19 mostra a utilização desse recurso na planilha de cálculo utilizada para a determinação dos valores do ICEnv.

The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet titled "Microsoft Excel - Kit06 - análise envoltória projeto otimizado - 04 orientações - ZB1". The spreadsheet contains data for "Tipologia 4 - Elevação Frontal - Orientação Solar Oeste". The variables and their values are as follows:

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmin	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.29	0.60	0.05	
FS		0.61	0.87	
AVS	37.383	0	0	
AHS	18.465	0	0	
ICenv	164.43	178.26	156.85	5.35

Below this table is a table titled "Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória":

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	162.21	167.57	172.92	178.27
Limite máximo	162.20	167.56	172.91	178.26	-

The classification is shown as "Nível B". The "Atingir meta" dialog box is open, showing "Definir célula:" as "\$B\$159", "Para valor:" as "162.19", and "Alternando célula:" as "\$B\$156".

FIGURA 19 – FERRAMENTA ATINGIR META DO MICROSOFT EXCEL

FONTE: Autoria própria

4.2.1 Alterações de parâmetros do projeto padrão para a Zona Bioclimática ZB-1

Na primeira tentativa, mantendo-se os valores originais de FS e AVS para atingir o valor de ICEnv menor que 162,20, o valor obtido para AVS foi de $-0,28^\circ$ (valor negativo, não poderia ser utilizado na equação). Nesse caso, há um indicativo que as proteções solares

verticais prejudicam a eficiência energética da envoltória para essa orientação solar. Mesmo eliminando-se todas as proteções solares verticais, o AHS médio ficaria com o valor de $7,70^\circ$ (devido ao sombreamento proporcionado pelas paredes na entrada da agência), resultando num valor de ICEnv igual a 162,86 (melhoraria o ICEnv, mas a envoltória continuaria sendo classificada com o Nível B).

Na segunda tentativa, os valores originais de FS e AHS foram mantidos, variando-se o valor de AVS com o objetivo de atingir ICEnv menor que 162,20. Foi obtido o valor de AVS de $51,69^\circ$, mas que também não pode ser utilizado na equação, pois o limite é de 45° para ângulos de sombreamento na Zona Bioclimática ZB-1. Nesse caso, há um indicativo que o AVS médio do projeto deve ser aumentado (por exemplo, os brises horizontais e marquises devem ser mais largos).

Na terceira tentativa, foram mantidos os valores dos ângulos de sombreamento originais (AVS e AHS) e procurou-se verificar qual deveria ser o valor do fator solar (FS) médio das aberturas envidraçadas. O valor obtido de 2,02 é irreal, uma vez que o valor de FS é inferior a 1. Mas o resultado obtido indica que o vidro pode ser mais simples (FS próximo ao do vidro tipo clear 3 mm).

Na quarta tentativa, todos os valores de FS, AVS e AHS foram alterados de acordo com os indicativos das tentativas anteriores. Foi proposta a substituição dos vidros laminados da entrada e do salão de atendimento por vidros com FS de 0,79 (resultando no FS médio de 0,80). Também foi proposta a retirada todas as proteções solares verticais (AHS médio de $7,70^\circ$) e a largura da marquise sobre o vidro VL3 da fachada frontal foi aumentada em 1,65m (AVS médio de $41,38^\circ$). Com essas alterações, foi obtido o ICEnv de 162,20, classificando a eficiência energética da envoltória com o “Nível A”.

4.2.2 Alterações de parâmetros do projeto padrão para as Zonas Bioclimáticas ZB-4 e ZB-5

Na primeira tentativa, mantiveram-se os valores originais de FS e AVS para atingir ICEnv menor que 469,04, obtendo-se o valor de $94,45^\circ$ para AHS. Esse valor não poderia ser utilizado, pois o limite é de 45° para ângulos de sombreamento nas Zonas Bioclimáticas ZB-4 e ZB-5.

Na segunda tentativa, mantendo-se os valores originais de FS e AHS para atingir o valor de ICEnv menor que 469,04, o valor obtido para AVS foi de 79,76°. Pelo mesmo motivo da tentativa anterior, esse valor não poderia ser utilizado, devido à limitação dos ângulos de sombreamento para as Zonas Bioclimáticas ZB-4 e ZB-5. Em ambas as situações, há a indicação de que os sombreamentos das aberturas envidraçadas contribuiriam para melhoria do desempenho energético da envoltória.

Na terceira tentativa, foram mantidos os valores dos ângulos de sombreamento originais e procurou-se verificar qual deveria ser o valor do fator solar (FS) médio das aberturas envidraçadas, obtendo-se 0,40. Nesse caso, as aberturas precisam ter vidros especiais ou películas de controle solar. Foi proposta a utilização vidros laminados de 8 mm (referência “Cebrace Cool Lite SKN incolor, FS=0,34”) para as áreas envidraçadas da entrada da agência e do salão de atendimento, conseguindo-se obter o FS médio de 0,40. Com essa alteração, foi obtido o ICEnv de 468,24, classificando a eficiência energética da envoltória com o “Nível A”.

4.2.3 Alterações de parâmetros do projeto padrão para a Zona Bioclimática ZB-7

Na primeira opção, manteve-se os valores originais de FS e AVS para atingir ICEnv menor que 134,09, obtendo-se o valor de 18,16° para AHS. Para reduzir o AHS do projeto original, uma das alternativas é a retirada das proteções solares verticais das janelas laterais e dos fundos. Com essa alteração, o AHS médio do projeto passa a ter o valor de 13,10°, resultando no ICEnv de 131,62, classificando a eficiência energética da envoltória com o “Nível A” para a implantação da agência com a orientação da fachada principal para o Norte, Leste e Sul.

Na segunda opção, mantendo-se os valores originais de FS e AHS para atingir o valor de ICEnv menor que 134,09, o valor obtido para AVS foi de 38,51°, que é bem próximo do valor do AVS do projeto original (37,38°). Para aumentar o AVS, foi proposto aumentar a largura da marquise sobre o vidro VL3 da fachada frontal em 1 metro, resultando no AVS médio de 40,07°. Com isso, o ICEnv obtido foi de 133,88, classificando a eficiência energética da envoltória com o “Nível A” para a implantação da agência com a orientação da fachada principal para o Norte, Leste e Sul.

Na terceira opção, foram mantidos os valores dos ângulos de sombreamento originais e procurou-se verificar qual deveria ser o valor do fator solar (FS) médio das aberturas envidraçadas. O valor obtido de 0,61 é muito próximo do valor de FS de 0,60 do projeto original. Para isso, foi proposta a substituição do vidro de apenas uma das aberturas (no caso, da janela de 2,00m x 1,00m do salão de atendimento) por um vidro com FS de 0,79 (referência “Walshs laminated 6,76 mm clear”), obtendo-se o FS médio de 0,61. Com isso, o ICEnv seria 134,09, classificando a envoltória do projeto padrão “Nível A” para a implantação da agência com a orientação da fachada principal para o Norte, Leste e Sul.

No caso das propostas de melhorias para a Zona Bioclimática ZB-7, a equação do Método Prescritivo mostra que poderia ser executada qualquer uma das propostas anteriores de maneira independente para obtenção da classificação da envoltória com o “Nível A”.

4.3 ANÁLISE DAS ECONOMIAS DE ENERGIA POR MEIO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COM O PROGRAMA ENERGYPLUS

O programa EnergyPlus (versão 6.0) foi utilizado para a análise do potencial da redução do consumo de energia elétrica com o sistema de condicionamento de ar em função das alterações propostas na envoltória do projeto padrão.

Inicialmente, foram inseridos os dados de entrada do projeto padrão original e executada a simulação para a verificação do gasto energético anual com o sistema de condicionamento de ar.

Para a simulação, o EnergyPlus utiliza arquivos climáticos que fornecem valores horários (8.760 horas) para todos os parâmetros relevantes requeridos pelo programa de simulação, tais como temperatura e umidade, direção e velocidade do vento e radiação solar, cujos formatos (TRY, TMY, SWEC, CTZ2, etc.) estão publicados no site do U.S. Department of Energy -Energy Efficiency & Renewable Energy (<http://www.eere.energy.gov>) e também no site do LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (<http://www.labeee.ufsc.br/>).

Em consulta aos referidos sites, os arquivos disponíveis para a simulação computacional são os seguintes:

- ZB-1: Curitiba-Afonso Pen 838400
- ZB-4: Brasília 833780
- ZB-7: Cuiaba-Marechal.Ron.833620 e Petrolina.829840

Para a ZB-5, não foram encontrados localidades com arquivos climáticos para a simulação. Para as simulações deste trabalho, somente foram utilizados os arquivos climáticos dos municípios de Curitiba, Brasília e Cuiabá.

A Figura 20 mostra a tela inicial do programa EnergyPlus utilizado para a simulação computacional. A tela de edição do arquivo “idf” é mostrada na Figura 21 e a simulação com os dados do arquivo climático selecionado é mostrada na Figura 22.

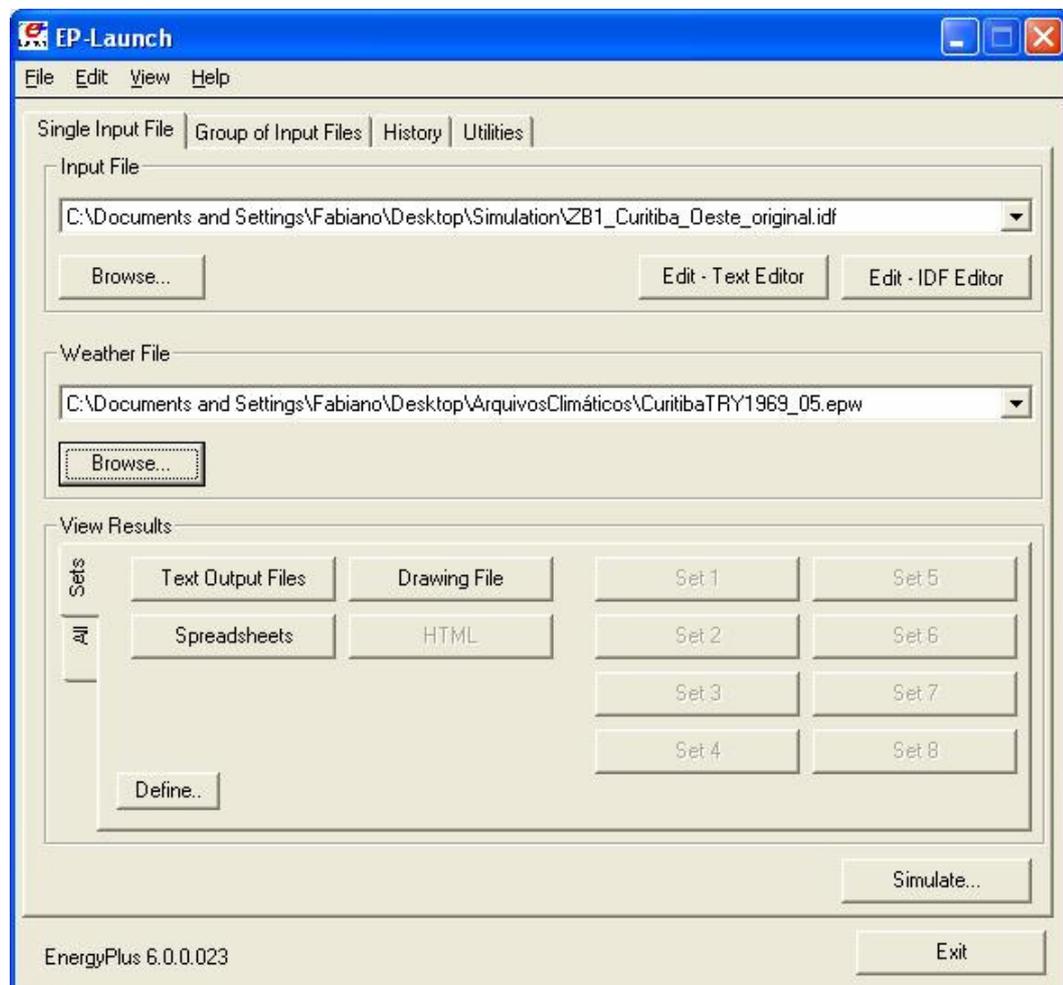


FIGURA 20 – TELA INICIAL DO PROGRAMA ENERGYPLUS

FONTE: Autoria própria

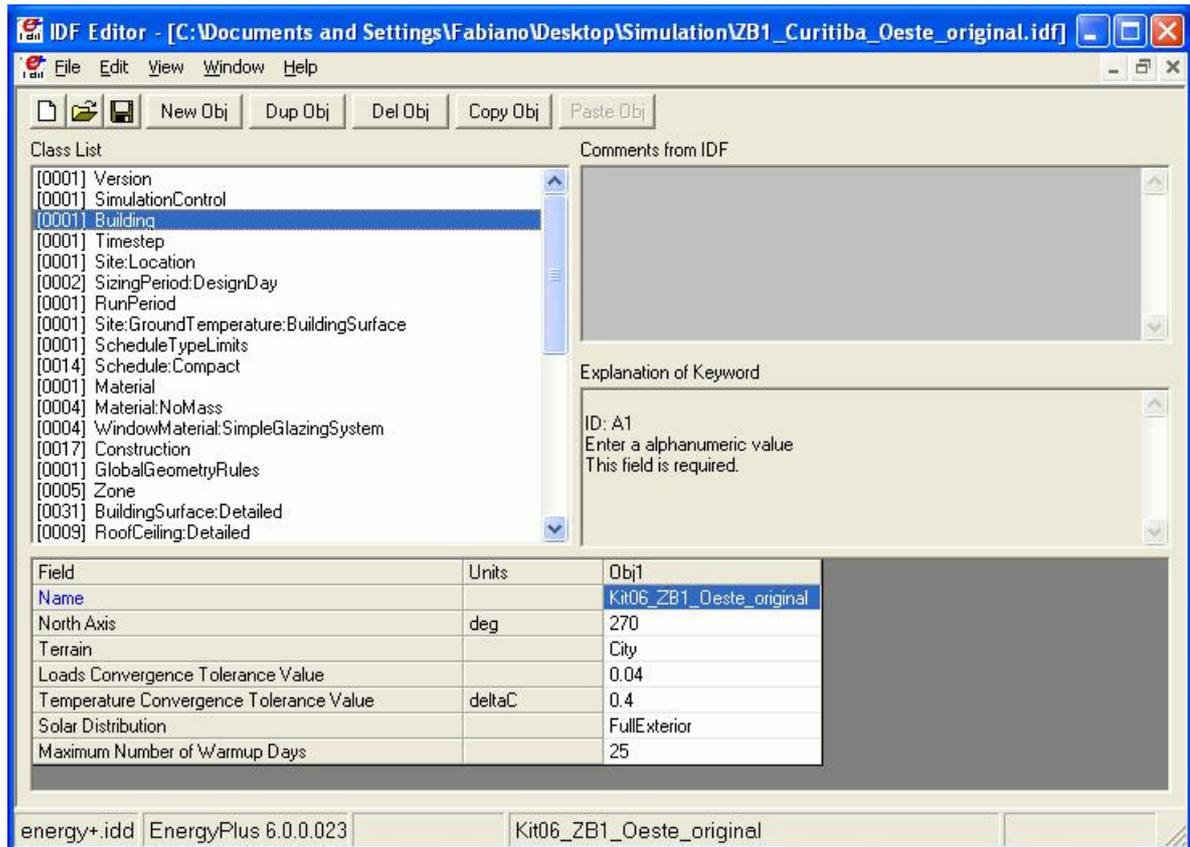


FIGURA 21 – TELA DE EDIÇÃO DO ARQUIVO IDF DO PROGRAMA ENERGYPLUS

FONTE: Autoria própria

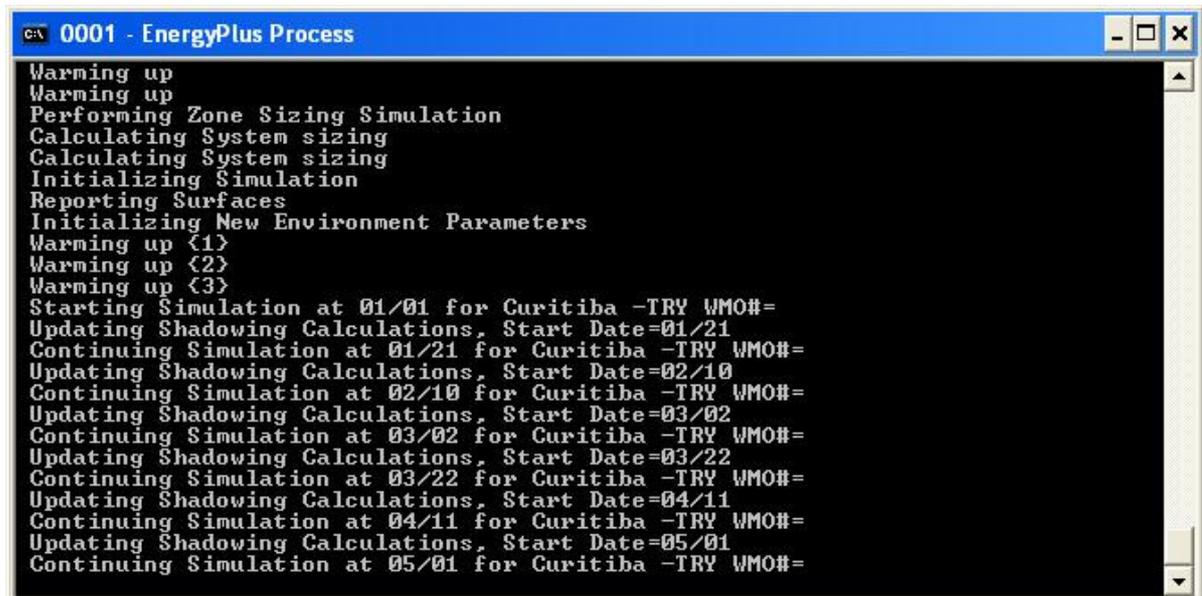


FIGURA 22 – TELA DE SIMULAÇÃO DO ENERGYPLUS COM O ARQUIVO CLIMÁTICO

FONTE: Autoria própria

Quanto aos padrões de uso (“*schedules*”), foram definidos por zona térmica e pelas cargas envolvidas (iluminação, equipamentos e pessoas).

O horário normal de expediente bancário (atendimento ao público) é somente durante os dias de semana, das 10h às 16h. Aproximadamente duas horas antes e duas horas depois do horário de expediente normal, parte dos empregados permanece na agência realizando trabalhos internos (mantendo-se parcialmente ligadas as cargas de iluminação, equipamentos e ar condicionado). Esse é o padrão de uso do salão de atendimento da agência, que na simulação é identificado como Zona 3.

Alguns ambientes internos da agência possuem equipamentos que informática que funcionam 24 horas por dias. Apesar de não haver empregados trabalhando nesses ambientes permanentemente, o calor dissipado pelos equipamentos obriga a instalação de sistemas de ar condicionado que operam em regime contínuo. É o caso da sala técnica (Zona 2) e do corredor de manutenção (Zona 4).

Na parte posterior da agência ficam os ambientes de acesso restrito e instalações sanitárias. Por serem ambientes de permanência não prolongada, não necessitam de sistema de climatização especial e por isso são ambientes não condicionados artificialmente. Nas simulações, esses ambientes estão na Zona 1.

Já a sala de autoatendimento possui horário diferenciado. Funciona 7 dias por semana, das 8h às 22h. No horário das 8h às 18h, o sistema de iluminação funciona parcialmente, já que as luminárias próximas às áreas envidraçadas permanecem desligadas (contribuição de luz natural). Das 18h às 22h, todas as luminárias permanecem ligadas. Além do salão de atendimento, é o único ambiente que foi considerado para o conforto térmico de pessoas e que necessita de sistema de climatização artificial. Nas simulações, a sala de autoatendimento está identificada como Zona 5.

A análise com o EnergyPlus também considera o piso da edificação em contato com o solo. Para o projeto padrão, o piso é de concreto com espessura de 10 cm. Conforme o tutorial do EnergyPlus, recomenda-se que a temperatura do solo seja obtida por meio de programas auxiliares (*Slab ou Basement*), pois esse parâmetro possui grande influência para aplicações residenciais e para pequenas edificações (como é o caso da agência bancária). Caso esses programas não sejam utilizados, pode ser inserido um valor padrão de 2° C abaixo do valor médio da temperatura do espaço interno. Para as simulações, foram lançados os valores das temperaturas médias mensais do interior da edificação descontando-se o valor padrão de 2° C.

Os demais fechamentos das zonas térmicas foram inseridos de maneira simplificada, com os dados de resistência térmica e da absorvância solar calculados para o Método Prescritivo e valores de catálogo (para os vidros).

Os ângulos de sombreamento verticais (AVS) são proporcionados por brises horizontais (“overhangs”) junto às janelas e pelas marquises (“shading zone detailed”) na entrada da agência. Já os ângulos de sombreamento horizontais (AHS) são proporcionados por brises verticais (“fins”) e também pela volumetria junto à entrada.

Como saída da simulação, são gerados arquivos do tipo dxf (desenho) e “spread sheets” (planilhas no formato csv). Os arquivos gráficos de saída da simulação do projeto padrão original no EnergyPlus são mostrados nas figuras 23 e 24.

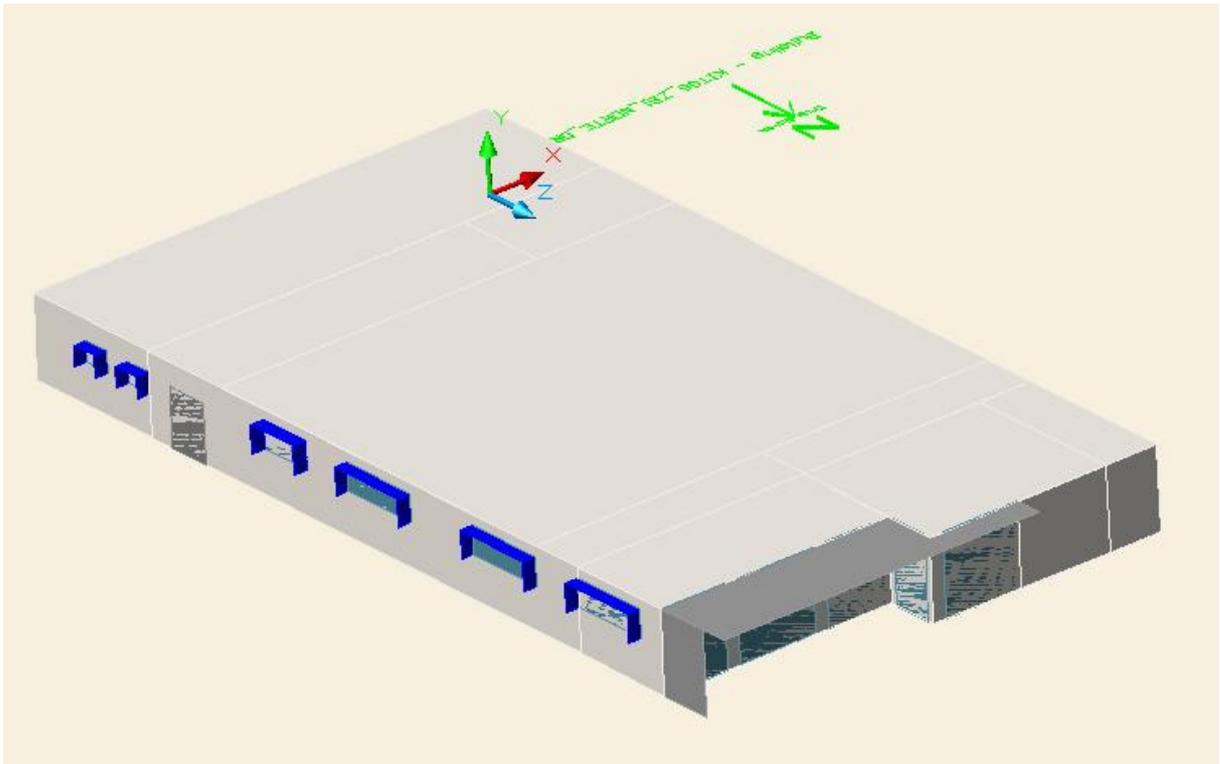


FIGURA 23 – VISTA EM 3D DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL – ELEVAÇÕES LATERAL E FRONTAL

FONTE: Autoria própria

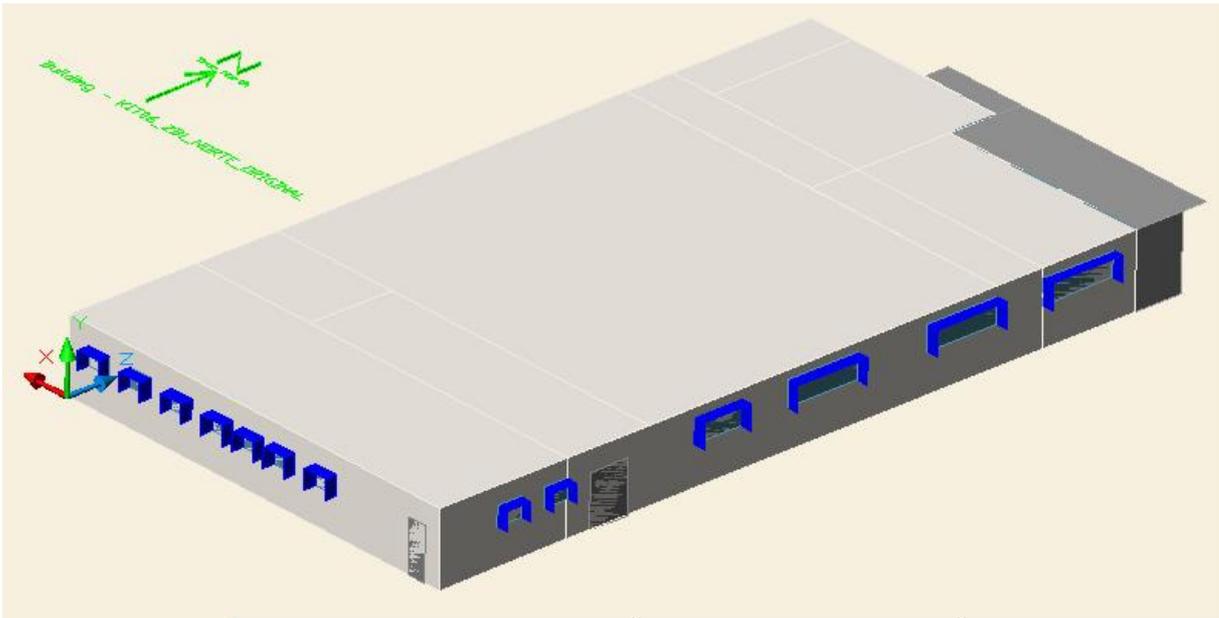


FIGURA 24 – VISTA EM 3D DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL – ELEVAÇÕES POSTERIOR E LATERAL

FONTE: Autoria própria

O salão de atendimento foi simulado com a ocupação máxima de 60 pessoas durante o horário normal de atendimento. Já a sala de autoatendimento foi prevista que cada uma das 6 máquinas estivesse sendo utilizada por um cliente simultaneamente. A taxa metabólica de 65 W/m²/pessoa foi baseada em função da atividade predominante no ambiente (digitação), de acordo com a ASHRAE (2001).

Para as cargas de iluminação, foram inseridos os valores das potências totais para cada uma das 5 zonas. A luminária utilizada é do tipo de embutir (“recessed”), com fração radiante de 0,37 e fração visível de 0,18, de acordo com o tutorial do EnergyPlus.

Os equipamentos existentes na agência são basicamente microcomputadores, rack’s dos sistemas de cabeamento estruturado e equipamentos ATM (“automatic teller machine”) na sala de autoatendimento.

Por questões de segurança, uma agência bancária possui poucas aberturas com ventilação natural. Por isso, a taxa de infiltração do projeto é de apenas 0,005 m³/s. Os termostatos de cada zona térmica foram ajustados para acionar o sistema de resfriamento quando a temperatura interna for superior a 24°C (de acordo com os padrões técnicos da instituição bancária, não é previsto aquecimento para os sistemas de ar condicionado). Os sistemas de ar condicionado (“HVAC”) do projeto padrão são do tipo “unitário”. O padrão de

uso é em função da utilização por pessoas (Zona 3 e Zona 5) ou por equipamentos (Zona 2 e Zona 3).

Para a planilha com o resumo da simulação, adicionalmente foi montada uma tabela com o relatório de uso final de energia elétrica. Como o sistema de iluminação e a carga dos equipamentos de informática são iguais para o projeto padrão, independentemente do local de implantação, a ênfase da análise foi em relação ao consumo esperado para o sistema de ar condicionado (ventilação e resfriamento), pois este é influenciado diretamente pelas alterações propostas para a envoltória.

4.3.1 Zona Bioclimática ZB-1 (Curitiba/PR)

Para o projeto padrão implantado na Zona Bioclimática ZB-1 com orientação da fachada principal para Oeste, o valor de ICEnv para o Nível A somente é atingido com a retirada de todas as proteções de sombreamento verticais (redução de AHS), aumento do FS médio dos vidros e aumento da largura da marquise sobre a entrada da agência (aumento do AVS). Essa proposta do projeto otimizado foi simulado para o município de Curitiba/PR, apresentando um potencial de economia de energia elétrica de 25,97% em relação ao projeto original, conforme mostra a Tabela 22 e o Gráfico 4. Os resultados da simulação validam as alterações propostas para a equação do Método Prescritivo do RTQ-C.

TABELA 22 - COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE ARCONDICIONADO DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL E DO PROJETO COM AS ALTERAÇÕES PROPOSTAS CONSIDERANDO A FACHADA PRINCIPAL COM ORIENTAÇÃO SOLAR PARA O OESTE – ZB-1 - CURITIBA/PR

Mês	Projeto padrão original			Projeto padrão proposto			Economia			
	Fans: Electricity [kWh]	Cooling: Electricity [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]	Fans: Electricity [kWh]	Cooling: Electricity [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]	Fans: Electricity [kWh]	Cooling: Electricity [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]
Janeiro	10	69	80	8	54	62	2	15	18	22,50 %
Fevereiro	11	76	88	9	63	72	2	13	16	18,18 %
Março	9	59	68	7	47	54	2	12	14	20,59%
Abril	2	15	17	2	11	13	0	4	4	23,53%
Mai	1	4	4	0	3	3	1	1	1	25,00%
Junho	0	2	2	0	2	2	0	0	0	0,00%
Julho	0	3	3	0	2	3	0	1	0	0,00%
Agosto	3	16	19	2	13	15	1	3	4	21,05%
Setembro	3	15	18	2	10	12	1	5	6	33,33%
Outubro	2	10	12	1	4	5	1	6	7	58,33%
Novembro	4	27	31	3	18	21	1	9	10	32,26%
Dezembro	6	37	43	3	21	24	3	16	19	44,19%
Média anual	52	333	385	37	248	285	15	85	100	25,97 %
Mínimo mensal	0	2	2	0	2	2	0	0	0	0,00%
Máximo mensal	11	76	88	9	63	72	2	13	16	18,18%

FONTE: Autoria própria

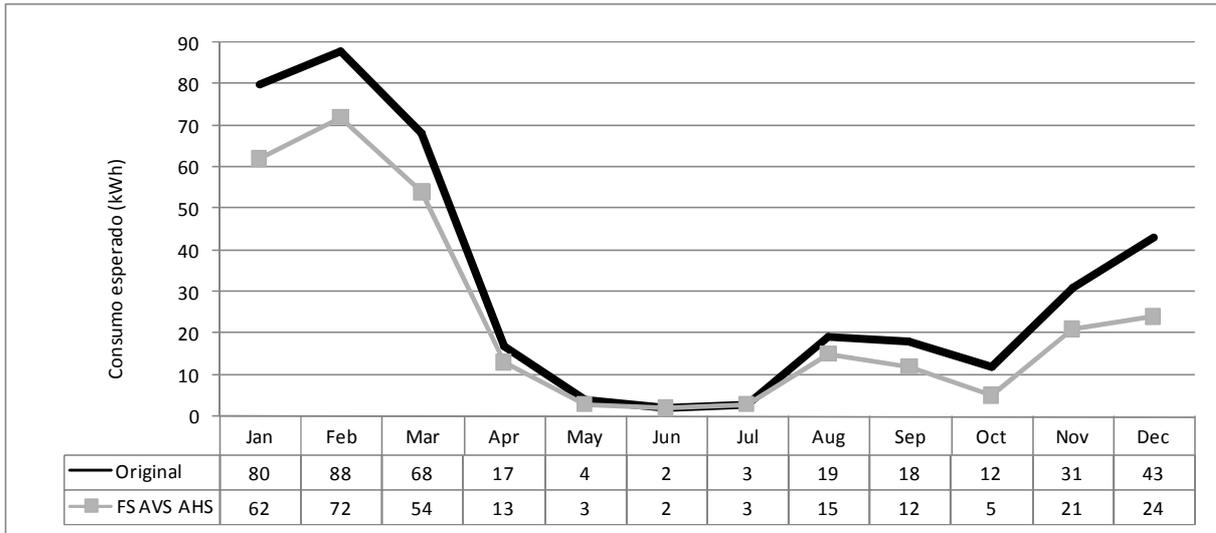


GRÁFICO 4 - COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE ARCONDICIONADO DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL E DO PROJETO COM AS ALTERAÇÕES PROPOSTAS, CONSIDERANDO A FACHADA PRINCIPAL COM ORIENTAÇÃO SOLAR PARA O OESTE – ZB-1 (CURITIBA/PR)

FONTE: Autoria própria

As Figuras 25 e 26 mostram a saída gráfica do projeto alterado sem as proteções verticais e com aumento da largura da marquise sobre uma das aberturas envidraçadas na fachada principal.

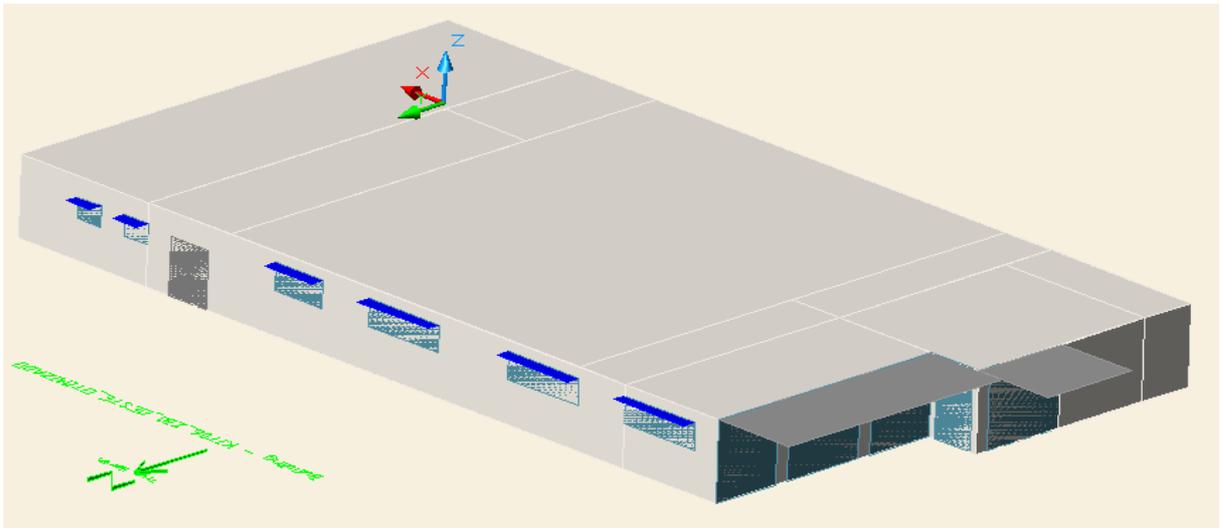


FIGURA 25 – VISTA EM 3D DO PROJETO PADRÃO SEM AS PROTEÇÕES SOLARES VERTICAIS E COM A MARQUISE ALONGADA DE UMA DAS ABERTURAS ENVIDRAÇADAS DA FACHADA PRINCIPAL – ELEVAÇÕES LATERAL E FRONTAL – ZB-1 – CURITIBA/PR

FONTE: Autoria própria

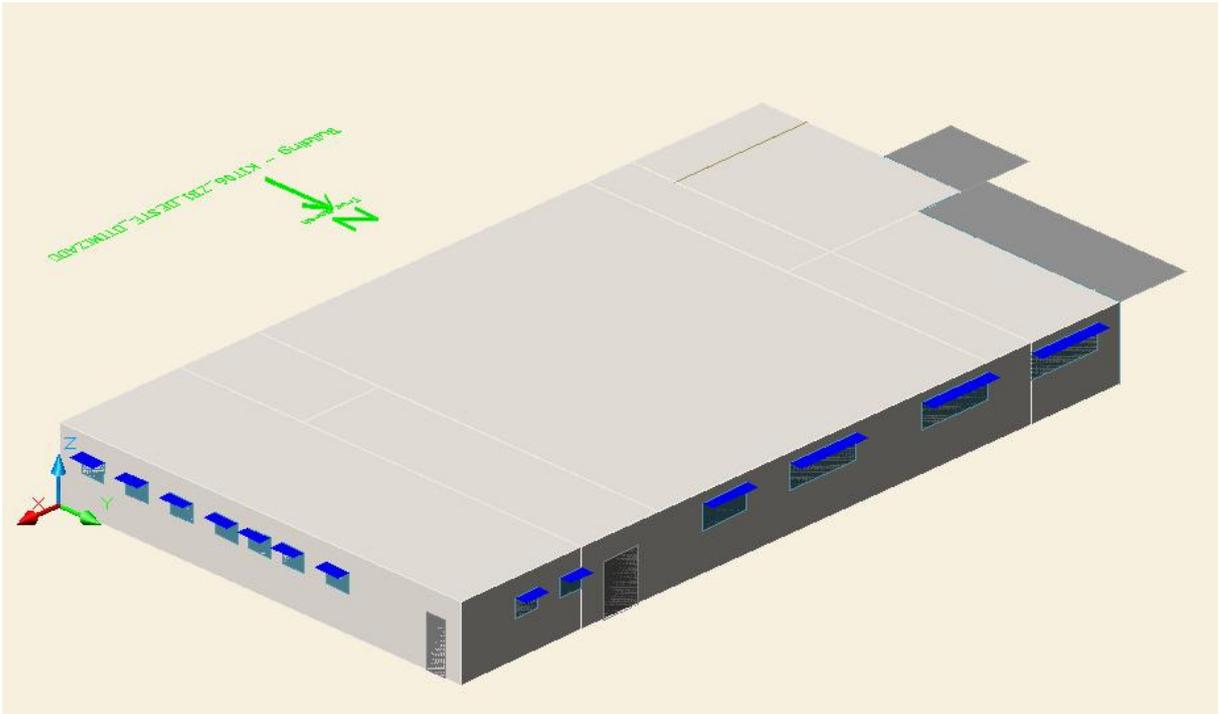


FIGURA 26 – VISTA EM 3D DO PROJETO PADRÃO SEM AS PROTEÇÕES SOLARES VERTICAIS E COM A MARQUISE ALONGADA DE UMA DAS ABERTURAS ENVIDRAÇADAS DA FACHADA PRINCIPAL – ELEVAÇÕES POSTERIOR E LATERAL – ZB-1 – CURITIBA/PR

FONTE: Autoria própria

4.3.2 Zona Bioclimática ZB-4 (Brasília/DF)

Para o projeto padrão implantando nas Zonas Bioclimáticas ZB-4 e ZB-5 com orientação da fachada principal para Oeste, a única alternativa viável de acordo com as equações do Método Prescritivo é reduzir o valor do FS médio dos vidros. No caso do município de Brasília/DF (localizado na ZB-4), a simulação mostrou uma economia de até 30,53% de energia elétrica do sistema de climatização em relação ao projeto original, conforme mostrado na Tabela 23 e Gráfico 5. O resultado da simulação valida a equação do ICEnv do Método Prescritivo.

Não foram feitas simulações do projeto otimizado para a ZB-5, devido à falta de arquivos com dados climáticos para municípios localizados nesse zoneamento.

TABELA 23 - COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE ARCONDICIONADO DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL E DO PROJETO COM AS ALTERAÇÃO PROPOSTA DO FATOR SOLAR CONSIDERANDO A FACHADA PRINCIPAL COM ORIENTAÇÃO SOLAR PARA O OESTE – ZB-4 - BRASÍLIA/DF

Mês	Projeto padrão original			Projeto padrão proposto			Economia			
	Fans: Electricity [kWh]	Cooling: Electricity [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]	Fans: Electricity [kWh]	Cooling: Electricity [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]	Fans: Electricity [kWh]	Cooling: Electricity [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]
Janeiro	14	98	113	9	67	76	5	31	37	32,74%
Fevereiro	17	118	136	13	88	100	4	30	36	26,47%
Março	14	93	107	10	67	77	4	26	30	28,04%
Abril	11	78	88	7	53	60	4	25	28	31,82%
Mai	3	22	25	1	11	12	2	11	13	52,00%
Junho	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
Julho	0	2	2	0	0	0	0	2	2	100,0%
Agosto	8	63	71	5	39	44	3	24	27	38,03%
Setembro	17	121	138	13	92	104	4	29	34	24,64%
Outubro	14	93	107	10	66	75	4	27	32	29,91%
Novembro	14	94	108	10	67	77	4	27	31	28,70%
Dezembro	9	59	68	6	38	43	3	21	25	36,76%
Média anual	122	841	963	83	586	669	39	255	294	30,53%
Mínimo mensal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
Máximo mensal	17	121	138	13	92	104	4	29	34	24,64%

FONTE: Autoria própria

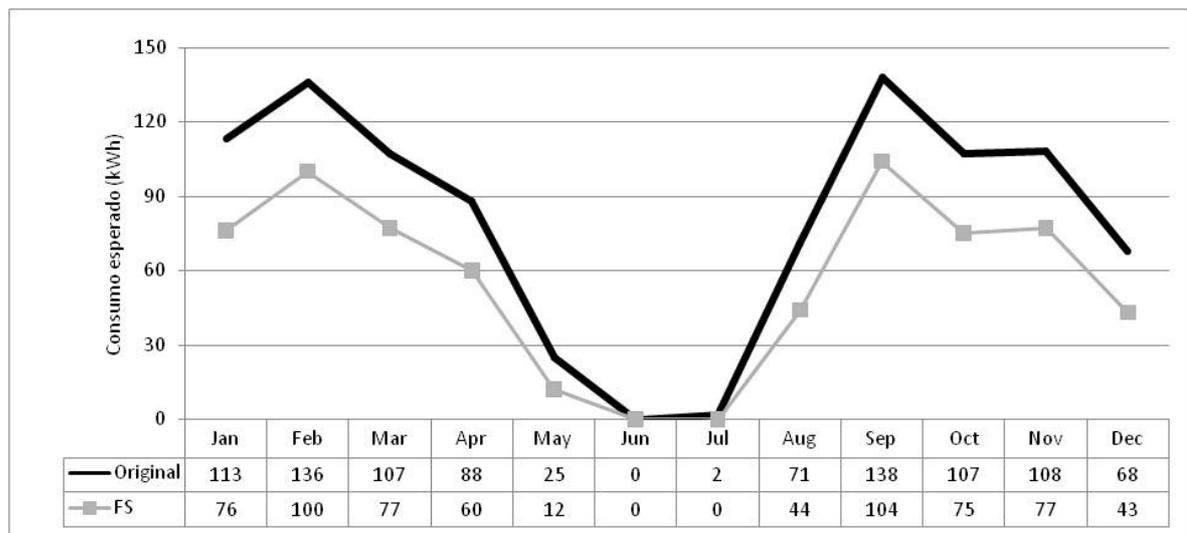


GRÁFICO 5 - COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE ARCONDICIONADO DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL E DO PROJETO COM AS ALTERAÇÕES PROPOSTAS, CONSIDERANDO A FACHADA PRINCIPAL COM ORIENTAÇÃO SOLAR PARA O OESTE – ZB-4 (BRASÍLIA/DF)

FONTE: Autoria própria

A Figura 27 mostra a saída gráfica do projeto alterado, considerando a substituição dos vidros da fachada principal e das 4 janelas do salão de atendimento por vidros com menor valor do fator solar (FS).

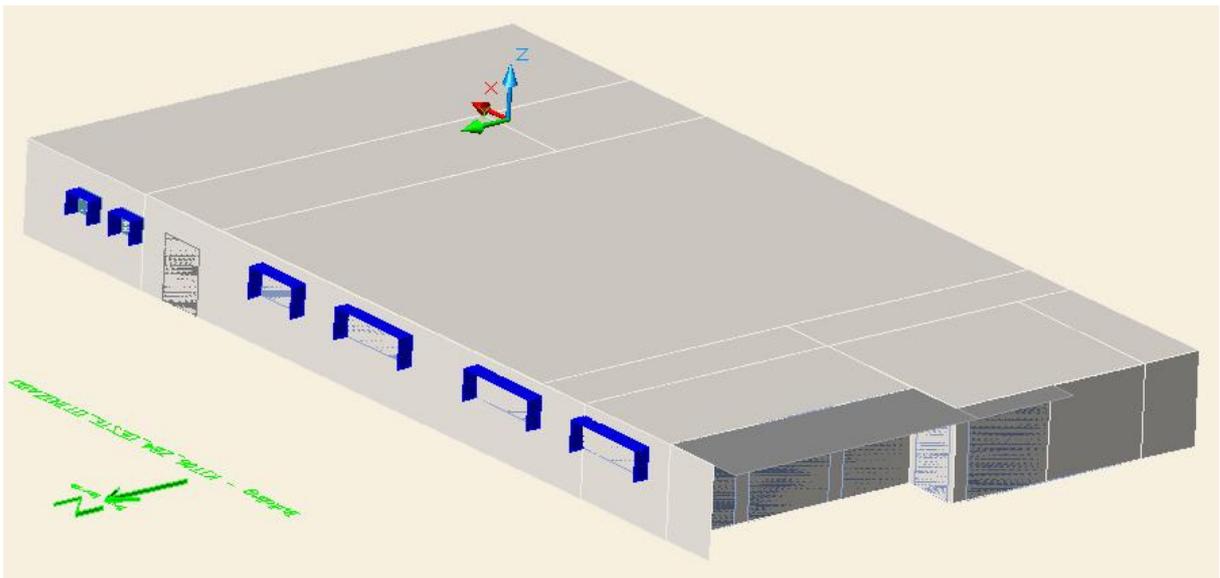


FIGURA 27 – VISTA EM 3D DO PROJETO PADRÃO, CONSIDERANDO VIDROS DE CONTROLE SOLAR (FS BAIXO) NAS ABERTURAS ENVIDRAÇADAS DA FACHADA PRINCIPAL E NAS 4 JANELAS DO SALÃO DE ATENDIMENTO E – ELEVAÇÕES LATERAL E FRONTAL – ZB-4 – BRASÍLIA - DF

FONTE: Autoria própria

4.3.3 Zona Bioclimática ZB-7 (Cuiabá/MT)

O projeto original também não atingiu o “Nível A” quando implantado na Zona Bioclimática ZB-7 com orientações da fachada principal para o Norte, Leste e Sul. As alterações dos valores na equação do Método Prescritivo para a ZB-7 indicaram três possibilidades para melhoria do projeto original (aumentar o valor médio do FS, aumentar o valor médio do AVS ou reduzir o valor médio do AHS). As simulações computacionais para validação das equações da ZB-7 foram feitas considerando o arquivo climático do município de Cuiabá/MT.

No caso da alteração do FS, a simulação apontou que praticamente não haveria economia, pois a diferença verificada no consumo anual para o projeto proposto relativamente ao original foi de apenas -0,04% (fachada principal para o Norte), 0,04% (fachada principal para o Leste) e 0,50% (fachada principal para o Sul), conforme mostrado nas Tabelas 24, 25 e 26. Ou seja, a equação do ICEnv com a alteração do FS melhora a classificação de acordo com Método Prescritivo, mas não apresenta potenciais reduções do consumo de energia elétrica com o sistema de ar condicionado.

TABELA 24 - COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE ARCONDICIONADO DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL E DO PROJETO COM A ALTERAÇÃO DO FATOR SOLAR CONSIDERANDO A FACHADA PRINCIPAL COM ORIENTAÇÃO SOLAR PARA O NORTE – ZB-7 – CUIABÁ/MT

Mês	Projeto padrão original			Projeto padrão proposto			Economia			
	Fans: Electricity [kWh]	Cooling: Electricity [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]	Fans: Electricity [kWh]	Cooling: Electricity [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]	Fans: Electricity [kWh]	Cooling: Electricity [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]
Janeiro	25	222	248	25	222	248	0	0	0	0,00%
Fevereiro	22	193	215	22	193	215	0	0	0	0,00%
Março	23	197	220	23	197	220	0	0	0	0,00%
Abril	18	158	176	18	158	176	0	0	0	0,00%
Mai	20	166	186	20	167	186	0	-1	0	0,00%
Junho	15	119	133	15	119	134	0	0	-1	-0,75%
Julho	15	125	141	15	126	141	0	-1	0	0,00%
Agosto	24	202	226	24	202	226	0	0	0	0,00%
Setembro	23	202	225	23	203	226	0	-1	-1	-0,44%
Outubro	31	271	301	31	270	301	0	1	0	0,00%
Novembro	22	186	207	22	186	208	0	0	-1	-0,48%
Dezembro	24	208	232	24	208	232	0	0	0	0,00%
Média anual	261	2250	2511	261	2251	2512	0	-1	-1	-0,04%
Mínimo mensal	15	119	133	15	119	134	0	0	-1	-0,75%
Máximo mensal	31	271	301	31	270	301	0	1	0	0,00%

FONTE: Autoria própria

TABELA 25 - COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE ARCONDICIONADO DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL E DO PROJETO COM A ALTERAÇÃO DO FATOR SOLAR CONSIDERANDO A FACHADA PRINCIPAL COM ORIENTAÇÃO SOLAR PARA O LESTE – ZB-7 – CUIABÁ/MT

Mês	Projeto padrão original			Projeto padrão proposto			Economia			
	Fans: Electricity [kWh]	Cooling: Electricity [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]	Fans: Electricity [kWh]	Cooling: Electricity [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]	Fans: Electricity [kWh]	Cooling: Electricity [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]
Janeiro	27	219	246	27	219	246	0	0	0	0,00%
Fevereiro	24	190	213	24	190	213	0	0	0	0,00%
Março	24	195	219	24	195	219	0	0	0	0,00%
Abril	19	148	166	19	148	166	0	0	0	0,00%
Mai	17	136	153	17	136	153	0	0	0	0,00%
Junho	11	81	91	11	81	91	0	0	0	0,00%
Julho	12	94	106	12	94	106	0	0	0	0,00%
Agosto	23	181	203	23	181	203	0	0	0	0,00%
Setembro	24	196	220	24	196	220	0	0	0	0,00%
Outubro	32	263	295	32	263	295	0	0	0	0,00%
Novembro	23	182	206	23	182	205	0	0	1	0,49%
Dezembro	26	208	234	26	208	234	0	0	0	0,00%
Média anual	262	2091	2353	261	2090	2352	1	1	1	0,04%
Mínimo mensal	11	81	91	11	81	91	0	0	0	0,00%
Máximo mensal	32	263	295	32	263	295	0	0	0	0,00%

FONTE: Autoria própria

TABELA 26 - COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE ARCONDICIONADO DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL E DO PROJETO COM A ALTERAÇÃO DO FATOR SOLAR CONSIDERANDO A FACHADA PRINCIPAL COM ORIENTAÇÃO SOLAR PARA O SUL – ZB-7 – CUIABÁ/MT

Mês	Projeto padrão original			Projeto padrão proposto			Economia			
	Fans: Electricity [kWh]	Cooling: Electricity [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]	Fans: Electricity [kWh]	Cooling: Electricity [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]	Fans: Electricity [kWh]	Cooling: Electricity [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]
Janeiro	30	263	293	30	262	292	0	1	1	0,34%
Fevereiro	25	223	248	25	222	247	0	1	1	0,40%
Março	26	227	253	26	226	252	0	1	1	0,40%
Abril	20	175	195	20	174	194	0	1	1	0,51%
Mai	18	167	185	18	166	184	0	1	1	0,54%
Junho	12	104	116	12	103	115	0	1	1	0,86%
Julho	13	116	130	13	115	129	0	1	1	0,77%
Agosto	24	214	238	24	212	236	0	2	2	0,84%
Setembro	26	232	258	26	231	256	0	1	2	0,78%
Outubro	35	311	346	35	310	344	0	1	2	0,58%
Novembro	26	221	247	25	221	246	1	0	1	0,40%
Dezembro	29	249	278	29	248	276	0	1	2	0,72%
Média anual	283	2502	2786	282	2490	2772	1	12	14	0,50%
Mínimo mensal	12	104	116	12	103	115	0	1	1	0,86%
Máximo mensal	35	311	346	35	310	344	0	1	2	0,58%

FONTE: Autoria própria

Já com a proposta de alteração do projeto com aumento do valor de AVS (aumento da largura da marquise sobre uma das aberturas envidraçadas da fachada principal - Figura 28), as economias verificadas pela simulação foram de 3,90% para a fachada Norte (Tabela 27 e Gráfico 6), 2,80% para a fachada Leste (Tabela 28 e Gráfico 7) e 0,68% para a fachada Sul (Tabela 29 e Gráfico 8). Ou seja, a equação do ICEnv com o aumento do AVS melhora a classificação da envoltória de acordo com Método Prescritivo e é ainda que marginalmente validada pelos resultados da simulação computacional.

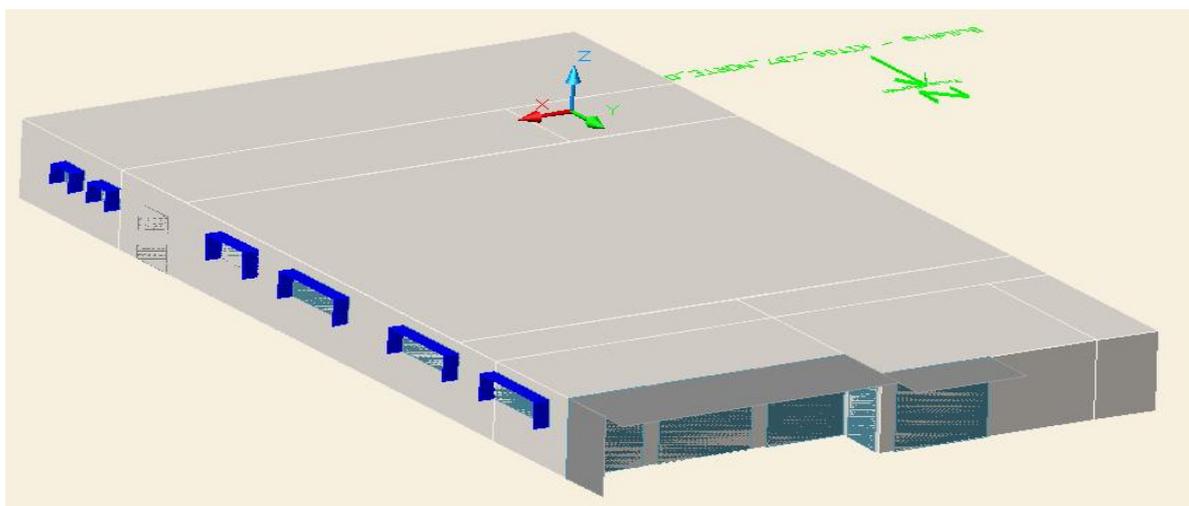


FIGURA 28 – VISTA EM 3D DO PROJETO PADRÃO, CONSIDERANDO AUMENTO DO AVS MÉDIO POR MEIO DO AUMENTO DA LARGURA DA MARQUISE DE UMA DAS ABERTURAS ENVIDRAÇADAS DA FACHADA PRINCIPAL – ELEVAÇÕES LATERAL E FRONTAL – ZB-7 – CUIABÁ - MT

FONTE: Autoria própria

TABELA 27 - COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE ARCONDICIONADO DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL E DO PROJETO COM A ALTERAÇÃO DO AVS, CONSIDERANDO A FACHADA PRINCIPAL COM ORIENTAÇÃO SOLAR PARA O NORTE – ZB-7 – CUIABÁ/MT

Mês	Projeto padrão original			Projeto padrão proposto			Economia			
	Fans: Electricity [kWh]	Cooling: Electricity [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]	Fans: Electricity [kWh]	Cooling: Electricity [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]	Fans: Electricity [kWh]	Cooling: Electricity [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]
Janeiro	25	222	248	25	220	246	0	2	2	0,81%
Fevereiro	22	193	215	22	191	213	0	2	2	0,93%
Março	23	197	220	22	195	217	1	2	3	1,36%
Abril	18	158	176	17	151	168	1	7	8	4,55%
Mai	20	166	186	17	149	167	3	17	19	10,22%
Junho	15	119	133	12	101	114	3	18	19	14,29%
Julho	15	125	141	13	109	122	2	16	19	13,48%
Agosto	24	202	226	22	189	211	2	13	15	6,64%
Setembro	23	202	225	23	199	222	0	3	3	1,33%
Outubro	31	271	301	30	269	299	1	2	2	0,66%
Novembro	22	186	207	21	184	205	1	2	2	0,97%
Dezembro	24	208	232	24	206	229	0	2	3	1,29%
Média anual	261	2250	2511	249	2164	2413	12	86	98	3,90%
Mínimo mensal	15	119	133	12	101	114	3	18	19	14,29%
Máximo mensal	31	271	301	30	269	299	1	2	2	0,66%

FONTE: Autoria própria

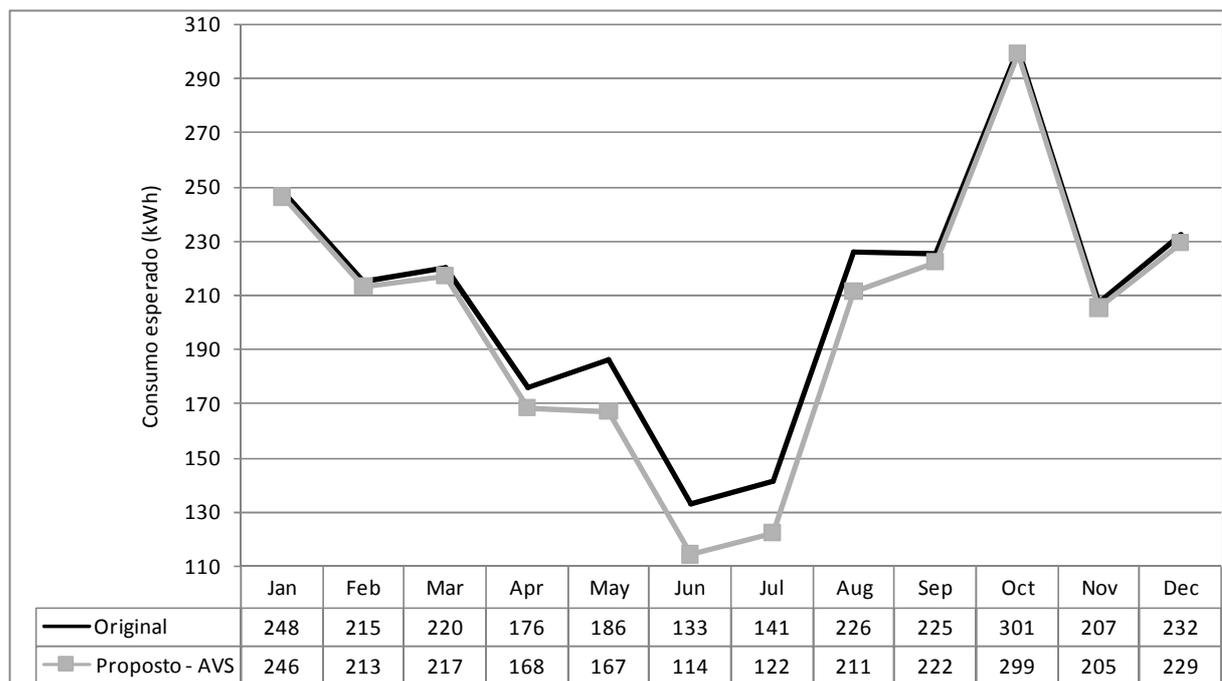


GRÁFICO 6 - COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE ARCONDICIONADO DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL E DO PROJETO COM A ALTERAÇÃO DO AVS, CONSIDERANDO A FACHADA PRINCIPAL COM ORIENTAÇÃO SOLAR PARA O NORTE – ZB-7 - CUIABÁ/MT

FONTE: Autoria própria

TABELA 28 - COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE ARCONDICIONADO DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL E DO PROJETO COM A ALTERAÇÃO DO AVS, CONSIDERANDO A FACHADA PRINCIPAL COM ORIENTAÇÃO SOLAR PARA O LESTE – ZB-7 – CUIABÁ/MT

Mês	Projeto padrão original			Projeto padrão proposto			Economia			
	Fans: Electricity [kWh]	Cooling: Electricity [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]	Fans: Electricity [kWh]	Cooling: Electricity [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]	Fans: Electricity [kWh]	Cooling: Electricity [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]
Janeiro	27	219	246	24	214	239	3	5	7	2,85%
Fevereiro	24	190	213	21	185	206	3	5	7	3,29%
Março	24	195	219	22	191	213	2	4	6	2,74%
Abril	19	148	166	17	145	162	2	3	4	2,41%
Mai	17	136	153	15	134	149	2	2	4	2,61%
Junho	11	81	91	9	79	88	2	2	3	3,30%
Julho	12	94	106	11	92	102	1	2	4	3,77%
Agosto	23	181	203	20	178	199	3	3	4	1,97%
Setembro	24	196	220	22	193	215	2	3	5	2,27%
Outubro	32	263	295	30	261	290	2	2	5	1,69%
Novembro	23	182	206	21	178	198	2	4	8	3,88%
Dezembro	26	208	234	23	203	226	3	5	8	3,42%
Média anual	262	2091	2353	236	2052	2287	26	39	66	2,80%
Mínimo mensal	11	81	91	9	79	88	2	2	3	3,30%
Máximo mensal	32	263	295	30	261	290	2	2	5	1,69%

FONTE: A autoria própria

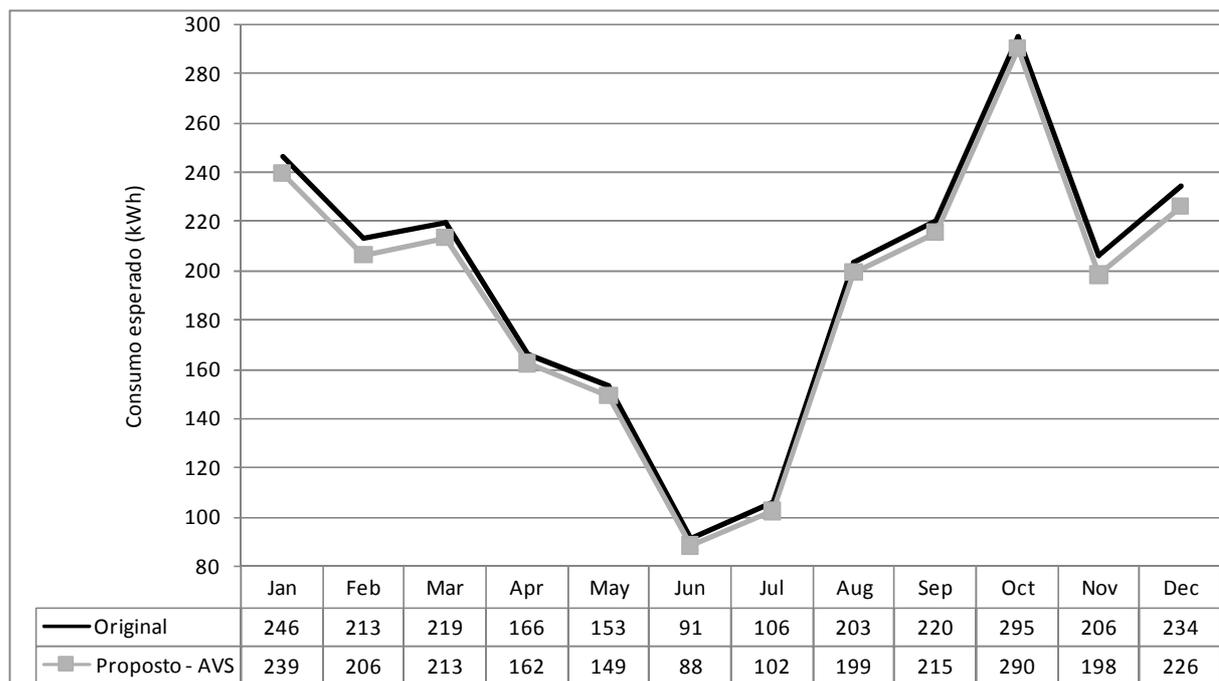


GRÁFICO 7 - COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE ARCONDICIONADO DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL E DO PROJETO COM A ALTERAÇÃO DO AVS, CONSIDERANDO A FACHADA PRINCIPAL COM ORIENTAÇÃO SOLAR PARA O LESTE – ZB-7 - CUIABÁ/MT

FONTE: A autoria própria

TABELA 29 - COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE ARCONDICIONADO DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL E DO PROJETO COM A ALTERAÇÃO DO AVS, CONSIDERANDO A FACHADA PRINCIPAL COM ORIENTAÇÃO SOLAR PARA O SUL – ZB-7 – CUIABÁ/MT

Mês	Projeto padrão original			Projeto padrão proposto			Economia			
	Fans: Electricity [kWh]	Cooling: Electricity [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]	Fans: Electricity [kWh]	Cooling: Electricity [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]	Fans: Electricity [kWh]	Cooling: Electricity [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]
Janeiro	30	263	293	30	261	291	0	2	2	0,68%
Fevereiro	25	223	248	25	221	246	0	2	2	0,81%
Março	26	227	253	26	225	251	0	2	2	0,79%
Abril	20	175	195	20	175	194	0	0	1	0,51%
Mai	18	167	185	18	166	185	0	1	0	0,00%
Junho	12	104	116	12	104	116	0	0	0	0,00%
Julho	13	116	130	13	116	129	0	0	1	0,77%
Agosto	24	214	238	24	213	237	0	1	1	0,42%
Setembro	26	232	258	26	231	257	0	1	1	0,39%
Outubro	35	311	346	35	309	344	0	2	2	0,58%
Novembro	26	221	247	25	219	245	1	2	2	0,81%
Dezembro	29	249	278	28	247	275	1	2	3	1,08%
Média anual	283	2502	2786	281	2486	2767	2	16	19	0,68%
Mínimo mensal	12	104	116	12	104	116	0	0	0	0,00%
Máximo mensal	35	311	346	35	309	344	0	2	2	0,58%

FONTE: Autoria própria

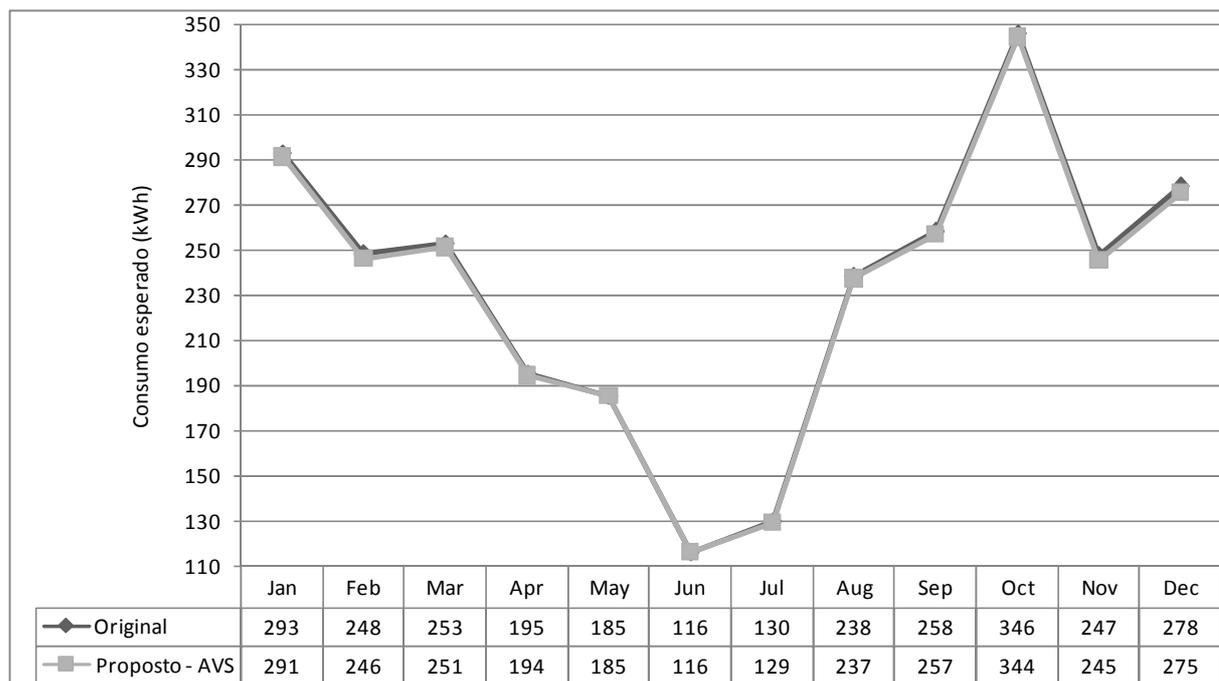


GRÁFICO 8 - COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE ARCONDICIONADO DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL E DO PROJETO COM A ALTERAÇÃO DO AVS, CONSIDERANDO A FACHADA PRINCIPAL COM ORIENTAÇÃO SOLAR PARA O SUL – ZB-7 - CUIABÁ/MT

FONTE: Autoria própria

Já a proposta de alteração do projeto padrão com a redução do valor médio de AHS (retirada de proteções solares verticais das janelas – Figura 29) não foi confirmada pela simulação, pois houve indicativo de aumento do consumo de energia elétrica de 1,43% para a fachada principal para o Norte (Tabela 30 e Gráfico 9), 1,74% para a fachada principal para Leste (Tabela 31 e Gráfico 10) e 3,23% para a fachada Sul (Tabela 32 e Gráfico 11).

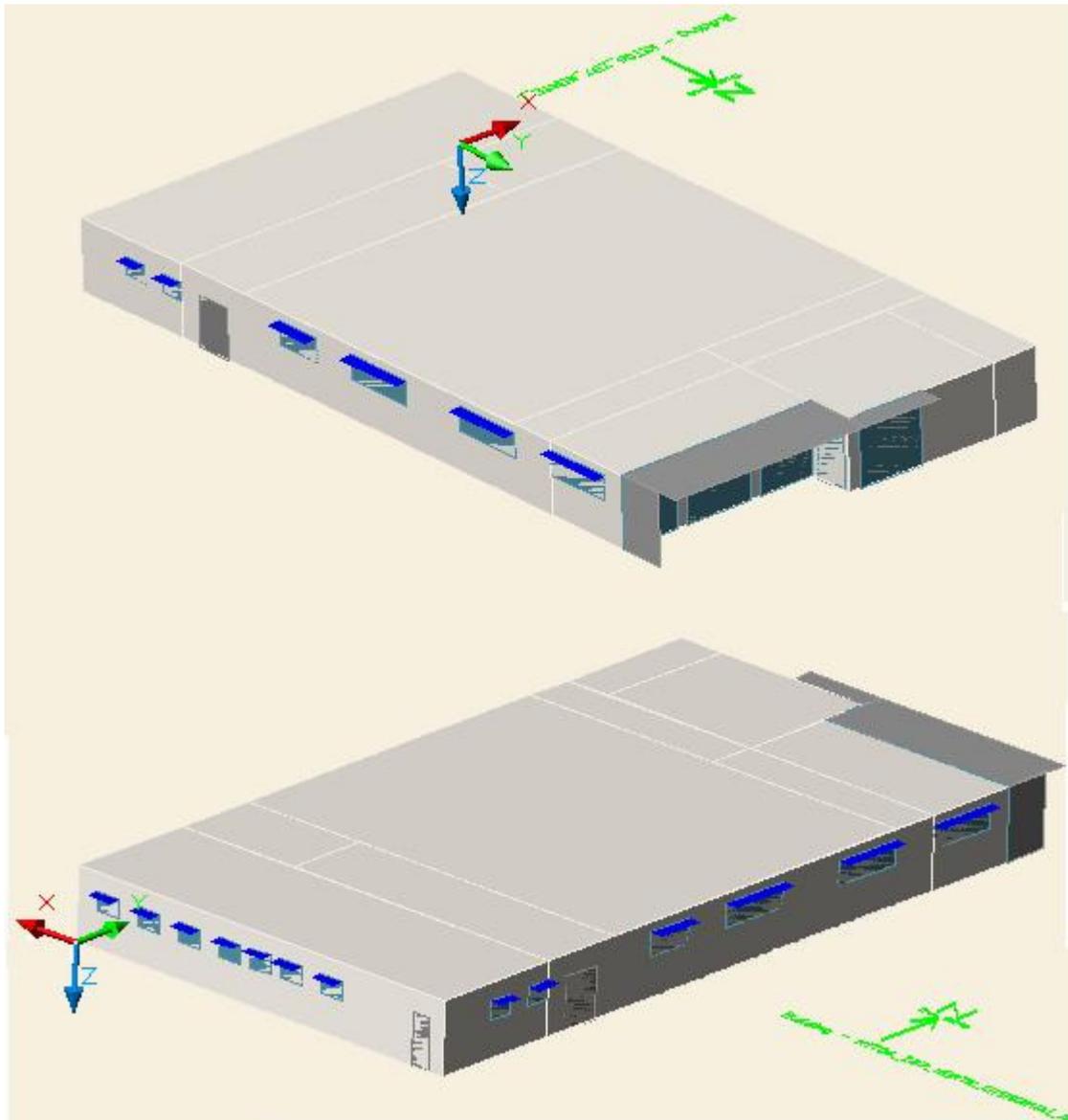


FIGURA 29 – VISTA EM 3D DO PROJETO PADRÃO, CONSIDERANDO REDUÇÃO DO AHS MÉDIO POR MEIO DO RETIRADA DE PROTEÇÕES SOLARES VERTICAIS DAS JANELAS DAS ELEVAÇÕES LATERAL E POSTERIOR – ELEVAÇÕES LATERAL E FRONTAL – ZB-7 – CUIABÁ - MT

FONTE: Autoria própria

TABELA 30 - COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE ARCONDICIONADO DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL E DO PROJETO COM A ALTERAÇÃO DO AHS, CONSIDERANDO A FACHADA PRINCIPAL COM ORIENTAÇÃO SOLAR PARA O NORTE – ZB-7 – CUIABÁ/MT

Mês	Projeto padrão original			Projeto padrão proposto			Economia			
	Fans: Electricity [kWh]	Cooling: Electricity [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]	Fans: Electricity [kWh]	Cooling: Electricity [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]	Fans: Electricity [kWh]	Cooling: Electricity [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]
Janeiro	25	222	248	26	226	252	-1	-4	-4	-1,61%
Fevereiro	22	193	215	22	195	217	0	-2	-2	-0,93%
Março	23	197	220	23	200	223	0	-3	-3	-1,36%
Abril	18	158	176	19	160	179	-1	-2	-3	-1,70%
Mai	20	166	186	20	169	189	0	-3	-3	-1,61%
Junho	15	119	133	15	121	136	0	-2	-3	-2,26%
Julho	15	125	141	16	128	143	-1	-3	-2	-1,42%
Agosto	24	202	226	24	204	228	0	-2	-2	-0,88%
Setembro	23	202	225	23	204	228	0	-2	-3	-1,33%
Outubro	31	271	301	31	273	304	0	-2	-3	-1,00%
Novembro	22	186	207	22	189	211	0	-3	-4	-1,93%
Dezembro	24	208	232	24	212	236	0	-4	-4	-1,72%
Média anual	261	2250	2511	265	2282	2547	-4	-32	-36	-1,43%
Mínimo mensal	15	119	133	15	121	136	0	-2	-3	-2,26%
Máximo mensal	31	271	301	31	273	304	0	-2	-3	-1,00%

FONTE: Autoria própria

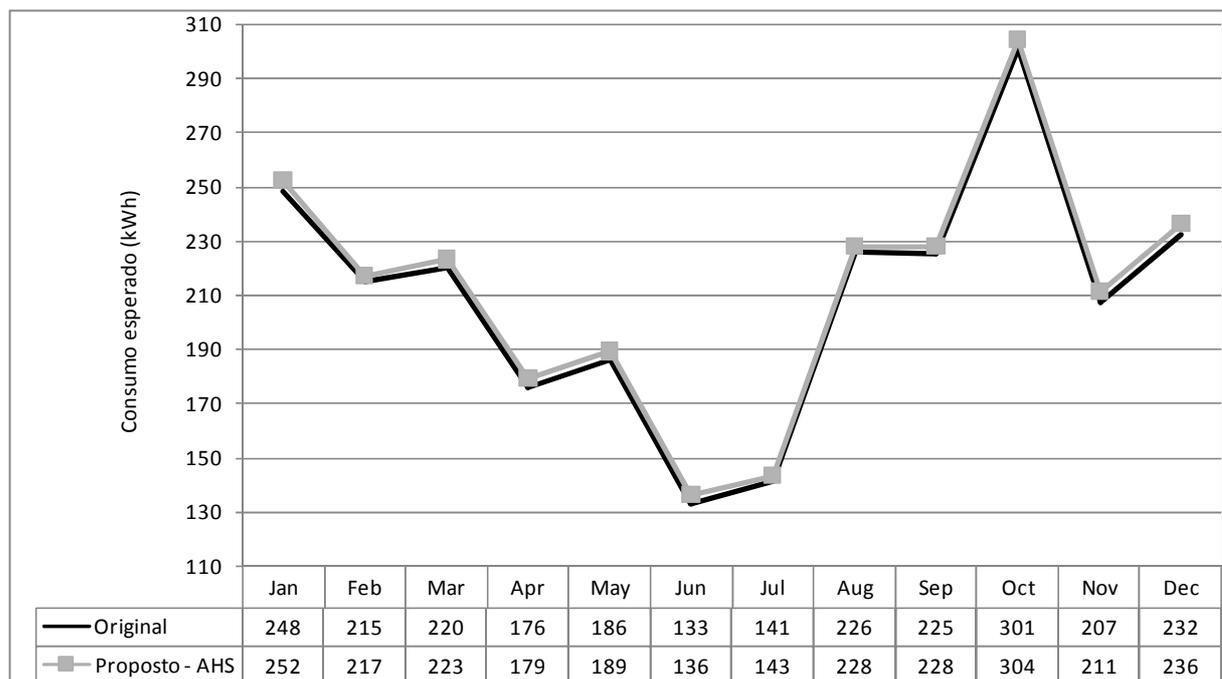


GRÁFICO 9 - COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE ARCONDICIONADO DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL E DO PROJETO COM A ALTERAÇÃO DO AHS, CONSIDERANDO A FACHADA PRINCIPAL COM ORIENTAÇÃO SOLAR PARA O NORTE – ZB-7 - CUIABÁ/MT

FONTE: Autoria própria

TABELA 31 - COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE ARCONDICIONADO DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL E DO PROJETO COM A ALTERAÇÃO DO AHS, CONSIDERANDO A FACHADA PRINCIPAL COM ORIENTAÇÃO SOLAR PARA O LESTE – ZB-7 – CUIABÁ/MT

Mês	Projeto padrão original			Projeto padrão proposto			Economia			
	Fans: Electricity [kWh]	Cooling: Electricity [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]	Fans: Electricity [kWh]	Cooling: Electricity [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]	Fans: Electricity [kWh]	Cooling: Electricity [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]
Janeiro	27	219	246	28	224	252	-1	-5	-6	-2,44%
Fevereiro	24	190	213	24	192	216	0	-2	-3	-1,41%
Março	24	195	219	25	197	222	-1	-2	-3	-1,37%
Abril	19	148	166	19	150	169	0	-2	-3	-1,81%
Mai	17	136	153	17	138	155	0	-2	-2	-1,31%
Junho	11	81	91	11	83	93	0	-2	-2	-2,20%
Julho	12	94	106	12	96	108	0	-2	-2	-1,89%
Agosto	23	181	203	23	183	206	0	-2	-3	-1,48%
Setembro	24	196	220	24	198	222	0	-2	-2	-0,91%
Outubro	32	263	295	33	265	297	-1	-2	-2	-0,68%
Novembro	23	182	206	24	187	211	-1	-5	-5	-2,43%
Dezembro	26	208	234	27	214	241	-1	-6	-7	-2,99%
Média anual	262	2091	2353	266	2128	2394	-4	-37	-41	-1,74%
Mínimo mensal	11	81	91	11	83	93	0	-2	-2	-2,20%
Máximo mensal	32	263	295	33	265	297	-1	-2	-2	-0,68%

FONTE: Autoria própria

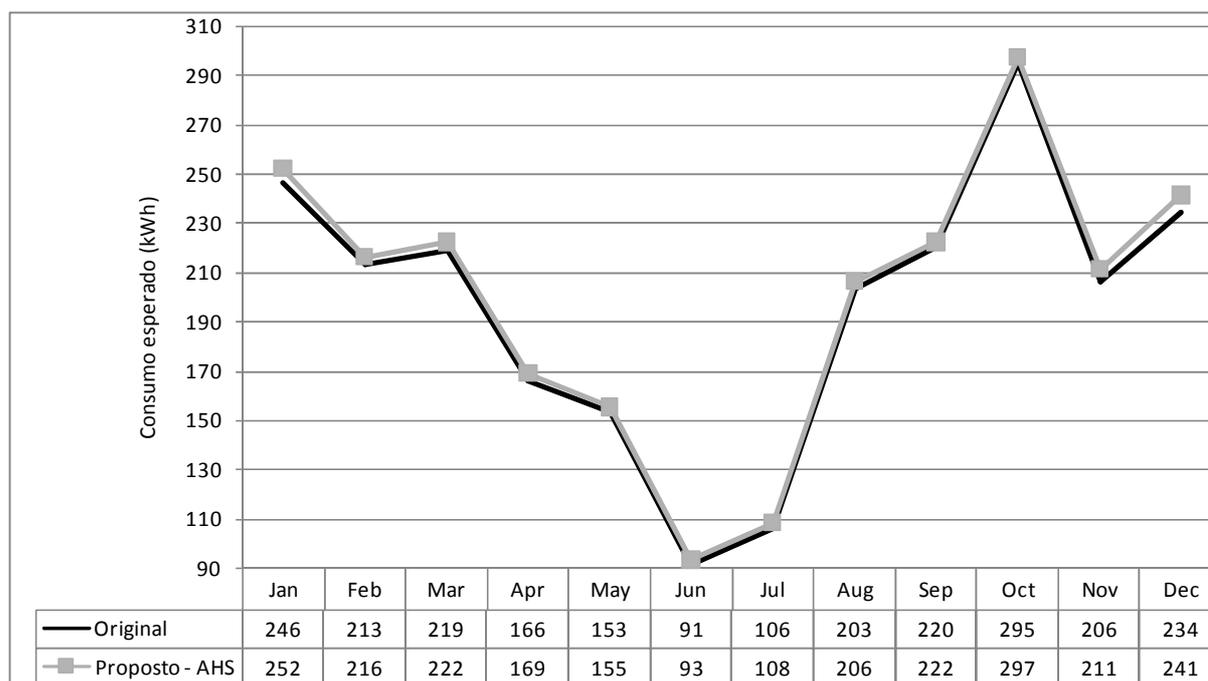


GRÁFICO 10 - COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE ARCONDICIONADO DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL E DO PROJETO COM A ALTERAÇÃO DO AHS, CONSIDERANDO A FACHADA PRINCIPAL COM ORIENTAÇÃO SOLAR PARA O LESTE – ZB-7 - CUIABÁ/MT

FONTE: Autoria própria

TABELA 32 - COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE ARCONDICIONADO DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL E DO PROJETO COM A ALTERAÇÃO DO AHS, CONSIDERANDO A FACHADA PRINCIPAL COM ORIENTAÇÃO SOLAR PARA O SUL – ZB-7 – CUIABÁ/MT

Mês	Projeto padrão original			Projeto padrão proposto			Economia			
	Fans: Electricity [kWh]	Cooling: Electricity [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]	Fans: Electricity [kWh]	Cooling: Electricity [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]	Fans: Electricity [kWh]	Cooling: Electricity [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]	Electricity: HVAC [kWh]
Janeiro	30	263	293	30	266	296	0	-3	-3	-1,02%
Fevereiro	25	223	248	26	225	251	-1	-2	-3	-1,21%
Março	26	227	253	26	233	259	0	-6	-6	-2,37%
Abril	20	175	195	20	183	203	0	-8	-8	-4,10%
Mai	18	167	185	20	180	200	-2	-13	-15	-8,11%
Junho	12	104	116	13	116	129	-1	-12	-13	-11,21%
Julho	13	116	130	14	127	142	-1	-11	-12	-9,23%
Agosto	24	214	238	25	225	250	-1	-11	-12	-5,04%
Setembro	26	232	258	27	237	264	-1	-5	-6	-2,33%
Outubro	35	311	346	35	314	350	0	-3	-4	-1,16%
Novembro	26	221	247	26	225	251	0	-4	-4	-1,62%
Dezembro	29	249	278	29	253	282	0	-4	-4	-1,44%
Média anual	283	2502	2786	293	2584	2876	-10	-82	-90	-3,23%
Mínimo mensal	12	104	116	13	116	129	-1	-12	-13	-11,21%
Máximo mensal	35	311	346	35	314	350	0	-3	-4	-1,16%

FONTE: Autoria própria

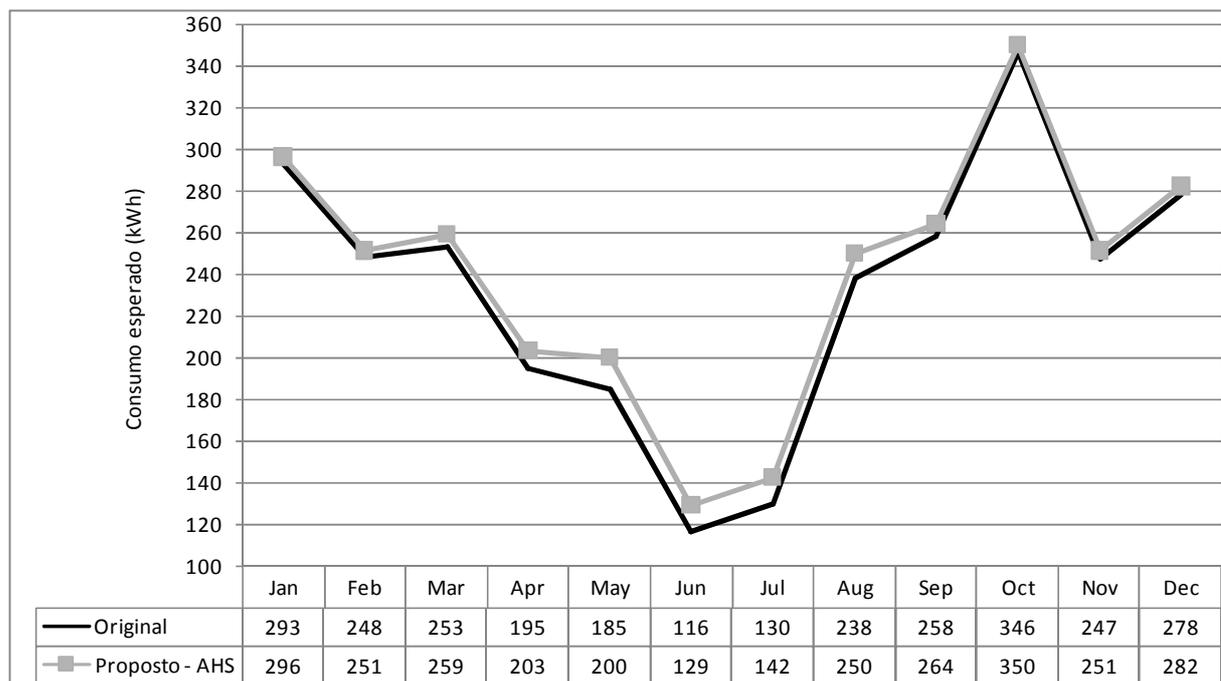


GRÁFICO 11 - COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE ARCONDICIONADO DO PROJETO PADRÃO ORIGINAL E DO PROJETO COM A ALTERAÇÃO DO AHS, CONSIDERANDO A FACHADA PRINCIPAL COM ORIENTAÇÃO SOLAR PARA O SUL – ZB-7 - CUIABÁ/MT

FONTE: Autoria própria

O Quadro 7 mostra de forma resumida os dados do projeto padrão original e as alterações propostas, com a nova classificação da eficiência energética da envoltória e os resultados da simulação computacional, com o potencial de redução do consumo de energia elétrica do sistema de ar condicionado.

QUADRO 7 - ANÁLISE COMPARATIVA DAS ALTERAÇÕES PROPOSTAS PARA A ELVOLTÓRIA E O POTENCIAL DE REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE AR CONDICIONADO

Zona Bioclimática	ZB-1	ZB-4	ZB-7									
Orientação solar	Oeste	Oeste	Norte			Leste			Sul			
Projeto original	FS	0,60	0,60	0,60			0,60			0,60		
	AVS	33,47°	33,47°	33,47°			33,47°			33,47°		
	AHS	18,47°	18,47°	18,47°			18,47°			18,47°		
	ICEnv	164,19	493,10	134,73			134,73			134,73		
	Classif	B	B	B			B			B		
Consumo HVAC	385 kWh	963 kWh	2511 kWh			2353 kWh			2786 kWh			
Projeto otimizado	FS	0,80	0,40	0,60	0,60	0,61	0,60	0,60	0,61	0,60	0,60	0,61
	AVS	41,38°	33,47°	33,47°	40,07°	33,47°	33,47°	40,07°	33,47°	33,47°	40,07°	33,47°
	AHS	7,70°	18,47°	13,10°	18,47°	18,47°	13,10°	18,47°	18,47°	13,10°	18,47°	18,47°
	ICEnv	162,20	468,24	131,62	133,88	134,09	131,62	133,88	134,09	131,62	133,88	134,09
	Classif	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Consumo HVAC (kWh)	285 kWh	669 kWh	2547 kWh	2413 kWh	2512 kWh	2394 kWh	2287 kWh	2352 kWh	2876 kWh	2767 kWh	2772 kWh	
Economia.	100 kWh	294 kWh	-36 kWh	98 kWh	-1 kWh	-41 kWh	66 kWh	1 kWh	-90 kWh	19 kWh	14 kWh	
	25,97%	30,53%	-1,43%	3,90%	-0,04%	-1,74%	2,80%	0,04%	-3,23%	0,68%	0,50%	

FONTE: Autoria própria

Desconsiderando-se a alteração do FS para o projeto com orientação solar Norte na ZB-7 (cujo valor de -0,04% não é relevante), somente não foi verificada a validação da equação do ICEnv para a ZB-7 com orientações solares Norte, Sul e Leste, pois a redução do AHS na equação melhora a classificação da envoltória para o “Nível A”, porém, os resultados da simulação mostraram que essa alteração apresentaria aumento do consumo de energia elétrica com o sistema de ar condicionado.

5 CONCLUSÕES

5.1 CONCLUSÕES GERAIS

Este estudo avaliou a eficiência energética de um projeto padrão de agência bancária em diferentes zonas bioclimáticas brasileiras, por meio de parâmetros do Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) do Inmetro. O Método Prescritivo do RTQ-C foi aplicado para a avaliação da eficiência energética da envoltória, do sistema de iluminação e do sistema de ar condicionado do projeto padrão.

O projeto luminotécnico e o projeto do sistema de ar condicionado do projeto padrão possuem valores fixos e foram classificados com o “Nível A” e “Nível B”, respectivamente. Nesse caso, a pontuação total da equação da classificação geral do Método Prescritivo do RTQ-C varia de acordo com o valor do equivalente numérico da envoltória e por esse motivo a ênfase neste estudo foi em relação ao desempenho energético desse item do projeto padrão.

Após o levantamento dos dados do projeto arquitetônico e a aplicação desses valores nas equações do Método Prescritivo do RTQ-C, verificou-se que em apenas 6 situações a envoltória não obteve a classificação com o “Nível A”. Para as Zonas Bioclimáticas ZB-1, ZB-4 e ZB5, a envoltória foi classificada com o “Nível B” para a implantação do projeto com a fachada principal com a orientação solar para o Oeste. Para a Zona Bioclimática ZB-7, a envoltória foi classificada com o “Nível B” para a implantação do projeto com a fachada principal com a orientação solar para o Norte, Leste e Sul.

Para essas situações, foram propostas alterações nas variáveis arquitetônicas de aberturas envidraçadas, como o fator solar dos vidros (FS) e ângulos de sombreamento promovidos pelas proteções solares verticais (AHS) e horizontais (AVS). Para a determinação dos valores que tornariam a classificação da eficiência energética da envoltória com o “Nível A” foi utilizada a ferramenta “Atingir Meta” do programa Microsoft Excel. Com base nos valores apresentados pelo programa, foram testadas as possibilidades de variação do FS, AVS e AHS no projeto arquitetônico. Para a análise comparativa do consumo energético do sistema de ar condicionado do projeto com as alterações propostas em relação ao projeto padrão, foi utilizada a ferramenta de simulação computacional EnergyPlus.

Para o projeto padrão implantado na Zona Bioclimática ZB-1 com orientação da fachada principal para Oeste, foi proposta a retirada de todas as proteções de sombreamento verticais (redução de AHS), aumento do FS médio dos vidros e aumento da largura da marquise sobre a entrada da agência (aumento do AVS). O projeto otimizado foi simulado no programa EnergyPlus para o município de Curitiba/PR, apresentando um potencial de economia de energia elétrica de 25,97% em relação ao projeto original, validando as alterações propostas na equação do Método Prescritivo do RTQ-C.

Para o projeto padrão implantando nas Zonas Bioclimáticas ZB-4 e ZB-5 com orientação da fachada principal para Oeste, a única alternativa viável de acordo com as equações do Método Prescritivo é reduzir o valor do FS médio dos vidros. No caso do município de Brasília/DF (localizado na ZB-4), a simulação mostrou uma economia de até 30,53% em relação ao projeto original, validando a equação do ICEnv do Método Prescritivo do RTQ-C. Não foram feitas simulações do projeto otimizado para a ZB-5, devido à falta de arquivos com dados climáticos para municípios localizados nesse zoneamento.

O projeto original também não atingiu o “Nível A” quando implantado na Zona Bioclimática ZB-7 com orientações da fachada principal para o Norte, Leste e Sul. As alterações dos valores na equação do Método Prescritivo para a ZB-7 indicaram três possibilidades para melhoria do projeto original (aumentar o valor médio do FS, aumentar o valor médio do AVS ou reduzir o valor médio do AHS). As simulações computacionais para validação das equações da ZB-7 foram feitas considerando o arquivo climático do município de Cuiabá/MT.

No caso da alteração do FS, a simulação apontou que praticamente não haveria economia no consumo de energia elétrica, pois a diferença verificada foi de apenas -0,04% (fachada principal para o Norte), 0,04% (fachada principal para o Leste) e 0,50% (fachada principal para o Sul). Ou seja, a equação do ICEnv com a alteração do FS melhora a classificação de acordo com Método Prescritivo, mas não apresenta potenciais reduções do consumo de energia elétrica com o sistema de ar condicionado.

Já com a proposta de alteração do projeto com aumento do valor de AVS (aumento da profundidade da marquise sobre uma das aberturas envidraçadas da fachada principal), os percentuais de economias de energia elétrica verificadas pela simulação foram de 3,90% para a fachada Norte, 2,80% para a fachada Leste e 0,68% para a fachada Sul. Ou seja, a equação do ICEnv com o aumento do AVS melhora a classificação da envoltória de acordo com Método Prescritivo e é validada pelos resultados da simulação computacional.

Já a proposta de alteração do projeto padrão com a redução do valor médio de AHS (retirada de proteções solares verticais das janelas) não foi confirmada pela simulação, pois houve indicativo de aumento do consumo de energia elétrica de 1,43% para a fachada principal para o Norte, 1,74% para a fachada principal para Leste e 3,23% para a fachada Sul.

Desconsiderando-se a alteração do FS para o projeto com orientação solar Norte na ZB-7 (cujo valor de -0,04% não é significativo), somente não foi verificada a validação da equação do ICEnv para a ZB-7 com orientações solares Norte, Sul e Leste. A redução do valor de AHS na equação melhora a classificação da envoltória para o “Nível A”, porém, os resultados da simulação mostraram que essa alteração apresentaria aumento do consumo de energia elétrica com o sistema de ar condicionado.

5.2 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

É sugerido o acompanhamento do consumo de energia de uma edificação baseada no projeto padrão já construída, para comparar os resultados previstos em projeto e os valores reais medidos.

Outra sugestão é a formação de banco de dados para futuras comparações realizadas com edifícios de referência (no caso, agências bancárias), que estabelecem qual edificação é mais ou menos eficiente que o de referência. Uma base de dados com diversos edifícios já cadastrados pode gerar *benchmarks*, onde se avalia a eficiência de o edifício é mais ou menos eficiente em relação a um grupo extenso. Este grupo pode ser descrito pela atividade institucional ou comercial dos edifícios (que tendem a conter características primárias semelhantes) e podem alcançar abrangência nacional.

REFERÊNCIAS

CARLO, J. C. Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envoltório de Edificações Não-residenciais. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. CTC Centro Tecnológico da UFSC. Florianópolis, 2008

CARLO, J. C.. AET N° 02/04 Elaboração de regulamentação e classificação de edificações eficientes. Processamento de arquivos climáticos para simulação de desempenho energético de edificações. Florianópolis, UFSC 2005.28 p.

CARLO, J. C., GHISI, E., LAMBERTS, R. The use of computer simulation to establish energy efficiency parameters for a building code of a city in Brazil. Eighth International IBPSA Conference, Proceedings... Eindhoven: IBPSA. 2003. pp 131-138.

CEOTTO, L. A sustentabilidade como valor estratégico para a Tishman Speyer. Encontro Internacional de Sustentabilidade na Construção: São Paulo, 2008

CRAWLEY, D. B.; PEDERSEN, C. O.; LIESEN, R. J.; FISHER, D. E.; STRAND, R. K.; TAYLOR, R. D.; LAWRIE, L. K.; WINKELMANN, F. C.; BUHL, W. F.; ERDEM, A. E.; HUANG, Y. J.. Energyplus, A New-Generation Building Energy Simulation Program. Building simulation 99, Sixth International IBPSA Conference, Kyoto, Japão. Anais

FELDMANN, F. Sustentabilidade: a vez da construção civil. Disponível em: <http://terramagazine.terra.com.br/interna/0,,OI1877652-EI6586,00.html>. Acessado em 18/11/2010.

FRANCKLIN JR., I.; AMARAL, T. G. Inovação tecnológica e modernização na indústria da construção civil. Ciência et Praxis, Vol. 1, Nr. 2. Passos: FESP/UEMG, 2008.

GELLER, H. S. O uso eficiente da eletricidade – uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil. Rio de Janeiro: INEE, ACEEE, 1994.

GIVONI, Baruch. Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines. Energy and Building, 1992.

GOMES, Vanessa. Avaliação ambiental de edificações – Evolução / Tendências Mundiais / Práticas Brasil. . 83° ENIC Encontro Nacional da Construção Civil. São Paulo, 2011,

disponível em <http://www.sindusconsp.com.br/downloads/eventos/2011/enic/11-08/VanessaGomes.pdf>. Acessado em 06/01/2012.

GOULART, S.. Dados climáticos para a avaliação e desempenho térmico de edificações em Florianópolis. Florianópolis, SC, 1993. Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

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

GUTIERREZ, G. C. R., LABAKI, L. C. Considerações sobre o brise-soleil na arquitetura moderna brasileira. Maceió: ENCAC-ELECAC. 2005. pp 874-881

KARPINSKI, L. A. Proposta de Gestão de Resíduos da Construção Civil para o Município de Passo Fundo-RS. Passo Fundo, RS, 2007. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade de Passo Fundo.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.. Eficiência Energética na Arquitetura. São Paulo: PW, 1997. 188 p. il.

OLOFSSON, T; MEIER, A; LAMBERTS, R. Rating the Energy Performance of Buildings. In International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings, vol. 3, 2004.

RAMOS, G. Análise da iluminação natural calculada por meio do programa EnergyPlus. Florianópolis, 2008. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

RORIZ, M.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. Uma proposta de norma técnica brasileira sobre desempenho térmico de habitações populares. In: 5º Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 1999, Fortaleza. Anais... Fortaleza, 1999. Artigo n. 288. 8 p.

ROSA, L. P. Uma reputação empírica do modelo econômico neoliberal. In: LESSA, Carlos (Org.). O Brasil à luz do apagão. Rio de Janeiro: Palavra & Imagem, 2001.

SILVA, V. G., 2003. Avaliação da Sustentabilidade de Edifícios de Escritórios Brasileiros: Diretrizes e Base Metodológica. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia Civil. São Paulo, 2003.

ASHRAE. Fundamentals Handbook. Atlanta, 2001.

IPCC. Climate Change 2007: Mitigation Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. METZ, B. et al (ed.). Cambridge, Reino Unido e Nova York, EUA: Cambridge University Press, 2007

WORLDBUILD. Green buildings strategies: 2000. WorldBuild Technologies Inc., 2001

U.S. Department of Energy. ENERGYPLUS, versão 3.0. U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, 2011.

U.S. Department of Energy. ENERGYPLUS. Getting Started With Energyplus: Everything You Need to Know About Running Energyplus. Energyplus, 2007.

U.S. Department of Energy. ENERGYPLUS. Input Output Reference, The Encyclopedic Reference to Energy Plus Input and Output, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto 02: 135.07-002. Projeto de normalização em conforto ambiental. Parte 2 - Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2003. 7p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto 02: 135.07-003. Projeto de normalização em conforto ambiental. Parte 3 – Norma de zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2003. 21 p.

BRASIL. Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Lex: Diário Oficial da União, Brasília, 2001. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/qualidade/lei10295.pdf>>. Acesso em: 17/10/2008.

_____. Decreto nº. 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. Lex: Diário Oficial da União, Brasília, 2001. Disponível em: <<http://www81.dataprev.gov.br/sislex/paginas/23/2001/4059.htm>>. Acesso em: 17/10/2008

_____. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – Inmetro. Portaria nº 163, de 08 de junho

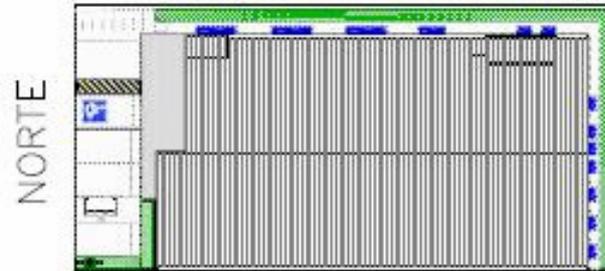
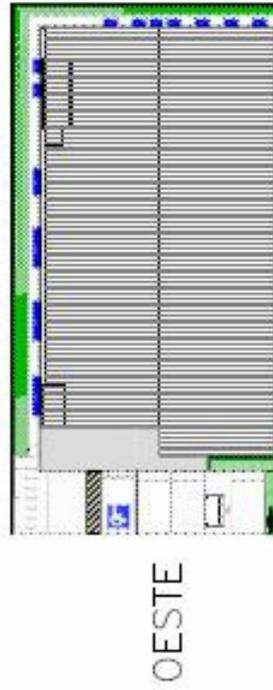
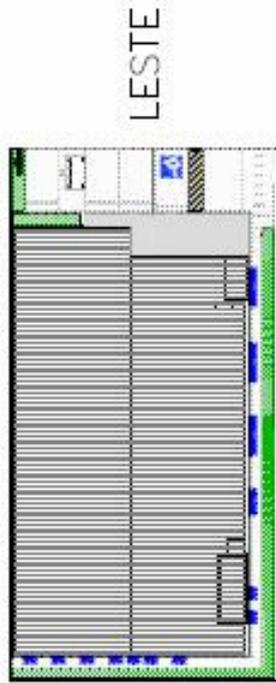
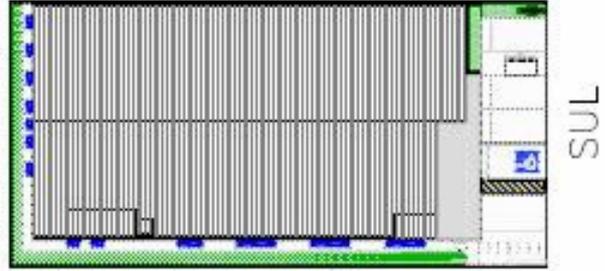
de 2009. Aprova a revisão do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001462.pdf>>. Acesso em 10/06/2009.

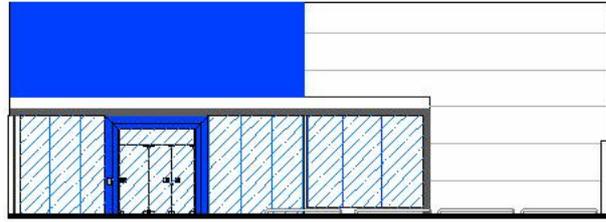
_____. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2011. Disponível em <<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal2011.aspx>> Acesso em: 08 de janeiro de 2012.

AL Sistemas Construtivos Steel Frame. Disponível em: <http://alsistemasconstrutivos.com.br>. Acessado em 12/06/2011

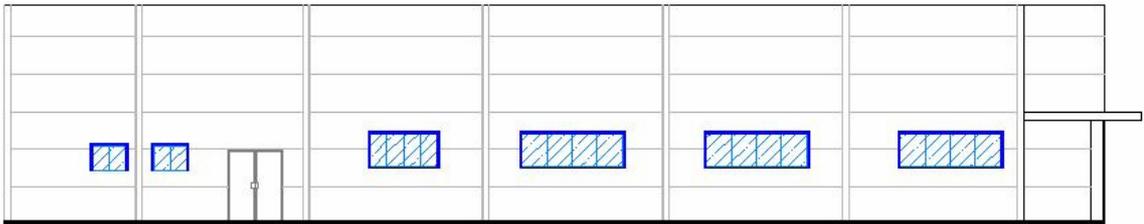
ANEXOS

ANEXO A - PROJETO PADRÃO

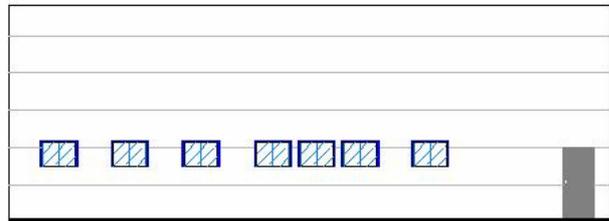




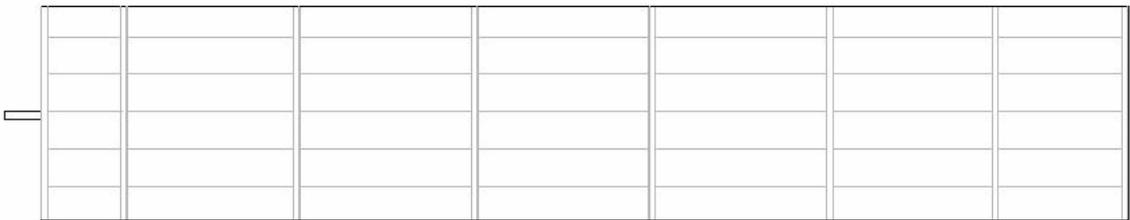
ELEVAÇÃO FRONTAL



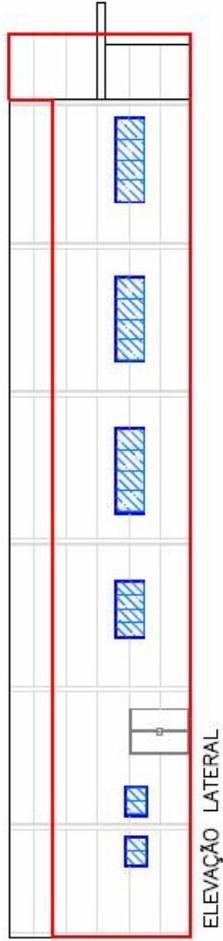
ELEVAÇÃO LATERAL



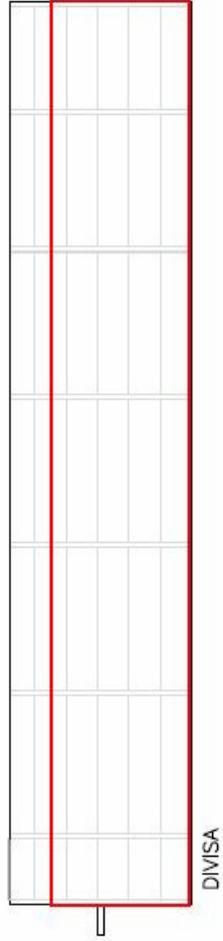
ELEVAÇÃO POSTERIOR



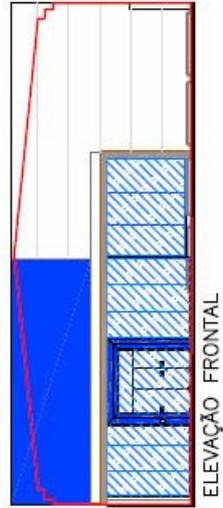
DIVISA



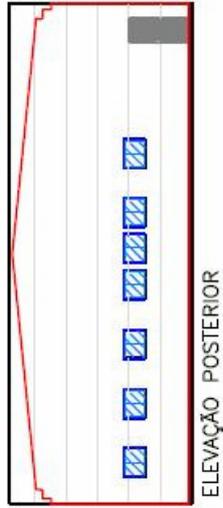
ELEVACÃO LATERAL



DIVISA



ELEVACÃO FRONTAL



ELEVACÃO POSTERIOR

ANEXO B - PLANILHAS DE CÁLCULOS

PROJETO PADRÃO ORIGINAL

Áreas do edifício

Pavimento	A tot (m ²) - área total de piso - medido externamente	Área útil (m ²) - AU (interno paredes) - exclui garagens	AC - Área condicionada (m ²)	APT - Área de permanência transitória - não condicionada (m ²)	ANC - Área de ambientes não condicionados de permanência prolongada (m ²)
Térreo	565.72	533.17	441.59	91.58	-
Atot	565.72	533.17	441.59	91.58	0.00

Área de projeção do edifício (Ape) 565.72 m²

Relação áreas

AC	441.59
AU	533.17
AC / AU	0.828
APT/AU	0.172

Volume total da edificação (Vtot)

Volumes	área (m ²)	compr. (m)	v (m ³)
Cobertura 1	18.96	30.10	570.70
Cobertura 2	9.48	2.37	22.47
Vcobertura			593.16
Térreo	565.72	4.92	2,783.34
Vtot			3,376.51

Área da envoltória (Aenv)

Elevação	área total (m ²)	área vidros (m ²)	PAF (%)
Frontal	107.43	31.04	28.89%
Lateral	162.93	17.47	10.72%
Posterior	107.43	4.31	4.02%
Divisa	159.40	0.00	0.00%
Área das paredes externas	537.19	52.83	9.83%

Cobertura	Corte (m)	Planta (m)	área (m ²)
Telhado 1	18.14	30.30	549.78
Telhado 2	9.07	2.15	19.49
Área da cobertura			569.27

Área das paredes externas (m²) 537.19
 Área da cobertura (m²) 569.27
 Área total da envoltória (m²) 1,106.46

Fator de Forma (FF)

Área da envoltória (m ²)	1,106.46
Volume total da edificação (m ³)	3,376.51
FF	0.3277

Fator Altura (FA)

Área da projeção edificação (m ²)	565.72
Área total (m ²)	565.72
FA	1.00

Aberturas envidraçadas

Fator Solar (FS)	0.60
Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS)	33.47
Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS)	18.47

Percentual de abertura das fachadas (PAF) e orientação solar

Orientação solar da elevação frontal	Tipologia	PAFT	PAFo	PAFT+20%	PAFT eq.
Norte	1	9.83%	0.00%	11.80%	9.83%
Leste	2	9.83%	4.02%	11.80%	9.83%
Sul	3	9.83%	10.72%	11.80%	9.83%
Oeste	4	9.83%	28.89%	11.80%	28.89%

QUADRO DE ÁREAS POR AMBIENTE

Ref	Pav	Ambiente	Área Útil (m ²)	AC - Área condicionada (m ²)	Apt - Área de piso de permanência transitória não condicionados (m ²)	Anc - Área de piso dos ambientes não condicionados de permanência prolongada (m ²)	Área total (m ²)	
1	Térreo	Autoatendimento	74.00	74.00			74.00	
7	Térreo	Corredor manutenção	27.54	27.54			27.54	
4	Térreo	Arquivo A	5.53	5.53			5.53	
5	Térreo	Arquivo B	10.62	10.62			10.62	
2	Térreo	Salão de atendimento	295.03	295.03			295.03	
6	Térreo	Casa de máquinas	13.20	13.20			13.20	
8	Térreo	Sala técnica	15.67	15.67			15.67	
9	Térreo	Circulação restrita	8.94			8.94	8.94	
10	Térreo	Circulação	13.45			13.45	13.45	
18	Térreo	Copa	22.98			22.98	22.98	
17	Térreo	DML	4.88			4.88	4.88	
15	Térreo	Sanitário feminino	7.13			7.13	7.13	
16	Térreo	Sanitário masculino	7.30			7.30	7.30	
14	Térreo	Sanitário adaptado	2.94			2.94	2.94	
14	Térreo	Sanitário adaptado	2.94			2.94	2.94	
13	Térreo	Arquivo agência	8.88			8.88	8.88	
12	Térreo	Almoxarifado	4.91			4.91	4.91	
19	Térreo	Depósito lixo	7.23			7.23	7.23	
			533.17	441.59		91.58	-	533.17

Resistência térmica da cobertura

Camada	Descrição	espessura (m)	condutividade térmica λ ((W/(m.K)))	Rt ((m ² .K/W))
Rse	Superfície externa	-	-	0.0400
Rt1	Chapa metálica tipo "galvalume"	0.0005	38.146	0.0000
Rt1	Isolante térmico tipo poliuretano	0.03	0.01725	1.7391
Rt1	Chapa metálica tipo "galvalume"	0.0005	38.146	0.0000
Rt2	Câmara de ar não ventilada	0.095	-	0.2100
Rt3	Forro mineral tipo "Hunter Douglas"	0.01	0.072	0.1389
Rsi	Superfície interna	-	-	0.1000
Resistência térmica da cobertura (Rcob - m².K/W)				2.228

Transmitância térmica da cobertura (Ucob - W/m².K)	0.449
--	--------------

Resistência térmica das paredes externas

Camada	Descrição	espessura (m)	condutividade térmica λ ((W/(m.K)))	Rt ((m ² .K/W))
Rse	Superfície externa	-	-	0.0400
Rt1	Placa tipo "Termowall" com isolante térmico poliuretano	0.05	0.03	1.6667
Rt2	Câmara de ar não ventilada	0.095	-	0.1700
Rt3	Placa tipo gesso acartonado 12mm	0.012	0.35	0.0343
Rsi	Superfície interna	-	-	0.1300
Resistência térmica das paredes externas (Rpar - m².K/W)				2.041

Transmitância térmica das paredes externas (Upar - W/m².K)	0.490
--	--------------

Resistência térmica das paredes internas

Camada	Descrição	espessura (m)	condutividade térmica λ ((W/(m.K)))	Rt ((m ² .K/W))
Rse	Superfície externa	-	-	0.0400
Rt1	Placa tipo gesso acartonado 12mm	0.012	0.35	0.0343
Rt2	Câmara de ar não ventilada	0.095	-	0.1700
Rt3	Placa tipo gesso acartonado 12mm	0.012	0.35	0.0343
Rsi	Superfície interna	-	-	0.1300
Resistência térmica das paredes internas (Rpar - m².K/W)				0.409

Transmitância térmica das paredes internas (Upar - W/m².K)	2.448
--	--------------

Absortância solar das paredes externas

Elevação	Descrição	Área (m ²)	Absortância α	Área x α
Frontal	Parede azul	20.04	0.90	18.04
	Parede branca	48.28	0.20	9.66
Lateral	Parede branca	138.78	0.20	27.76
Posterior	Parede branca	105.54	0.20	21.11
Divisa	Parede branca	159.08	0.20	31.82
Total		471.72	0.23	108.37

ABERTURAS ENVIDRAÇADAS

Elevação Frontal		área das aberturas		área de vidros		fator solar		AVS			AHS			área x AHS							
		larg (m)	altura (m)	larg (m)	altura (m)	FS	FS x área	altura (m)	prot. horiz. (m)	larg (m)	prot. esq. (m)	larg (m)	prot. dir. (m)		AHS						
Vidro																					
VL1	laminado 8 mm Eco Lite incolor	2.49	3.00	7.47	2.97	7.31	0.57	4.16	2.99	3.31	45.00	328.78	2.49	2.20	41.40	8.77	2.17	13.90	27.65	202.00	
VL1	laminado 8 mm Eco Lite incolor	2.94	3.00	8.82	2.97	8.64	0.57	4.92	2.99	3.31	45.00	388.71	8.77	2.20	14.05	2.94	2.17	36.45	25.25	218.10	
PV1	laminado 8 mm Eco Lite incolor	0.89	2.10	1.87	0.89	1.84	0.57	1.05	2.99	3.31	45.00	82.90	5.42	2.20	22.05	4.72	2.17	24.68	23.36	43.04	
PV2	laminado 8 mm Eco Lite incolor	1.38	2.10	2.90	1.38	2.86	0.57	1.63	2.99	3.31	45.00	128.55	4.03	2.20	28.57	5.64	2.17	21.05	24.81	70.87	
Fx	laminado 8 mm Eco Lite incolor	2.31	0.49	1.12	2.29	0.49	1.12	0.57	0.64	0.91	3.31	45.00	50.29	5.42	2.20	22.05	5.64	2.17	21.05	21.55	24.08
VL3	laminado 8 mm Eco Lite incolor	3.38	2.80	9.46	3.35	2.77	0.57	5.29	2.79	1.14	22.26	206.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				31.64		31.04	0.57	17.69			31.55	979.23								17.98	558.09
Elevação Lateral		área das aberturas		área de vidros		fator solar		AVS			AHS			área x AHS							
Tipo	Vidro	larg (m)	altura (m)	área (m²)	larg (m)	altura (m)	FS	FS x área	altura (m)	prot. horiz. (m)	larg (m)	prot. esq. (m)	larg (m)		prot. dir. (m)	AHS					
VL2	laminado 8 mm Eco Lite incolor	2.18	2.80	6.10	2.15	2.77	0.57	3.39	2.79	8.77	45.00	268.00	2.17	3.38	45.00	-	-	-	-	22.50	134.00
J1	laminado 8 mm Eco Lite incolor	3.00	1.00	3.00	2.97	0.95	2.82	0.57	1.61	0.95	0.55	30.17	85.12	2.98	0.55	10.53	2.98	0.55	10.53	10.53	29.72
J1	laminado 8 mm Eco Lite incolor	3.00	1.00	3.00	2.97	0.95	2.82	0.57	1.61	0.95	0.55	30.17	85.12	2.98	0.55	10.53	2.98	0.55	10.53	10.53	29.72
J1	laminado 8 mm Eco Lite incolor	3.00	1.00	3.00	2.97	0.95	2.82	0.57	1.61	0.95	0.55	30.17	85.12	2.98	0.55	10.53	2.98	0.55	10.53	10.53	29.72
J2	laminado 8 mm Eco Lite incolor	2.05	1.00	2.05	2.02	0.90	1.82	0.57	1.04	0.95	0.55	30.17	54.84	2.04	0.55	15.24	2.04	0.55	15.24	15.24	27.71
J3	crystal 3 mm	1.00	0.75	0.75	0.92	0.67	0.87	0.54	0.71	0.55	37.99	23.42	0.96	0.55	30.01	0.96	0.55	30.01	30.01	18.50	
J3	crystal 3 mm	1.00	0.75	0.75	0.92	0.67	0.87	0.54	0.71	0.55	37.99	23.42	0.96	0.55	30.01	0.96	0.55	30.01	30.01	18.50	
				18.65		17.47	0.59	10.33			35.78	625.02								16.48	287.87
Elevação Posterior		área das aberturas		área de vidros		fator solar		AVS			AHS			área x AHS							
Tipo	Vidro	larg (m)	altura (m)	área (m²)	larg (m)	altura (m)	FS	FS x área	altura (m)	prot. horiz. (m)	larg (m)	prot. esq. (m)	larg (m)		prot. dir. (m)	AHS					
J3	crystal 3 mm	1.00	0.75	0.75	0.92	0.67	0.87	0.54	0.71	0.55	37.99	23.42	0.96	0.55	30.01	0.96	0.55	30.01	30.01	18.50	
J3	crystal 3 mm	1.00	0.75	0.75	0.92	0.67	0.87	0.54	0.71	0.55	37.99	23.42	0.96	0.55	30.01	0.96	0.55	30.01	30.01	18.50	
J3	crystal 3 mm	1.00	0.75	0.75	0.92	0.67	0.87	0.54	0.71	0.55	37.99	23.42	0.96	0.55	30.01	0.96	0.55	30.01	30.01	18.50	
J3	crystal 3 mm	1.00	0.75	0.75	0.92	0.67	0.87	0.54	0.71	0.55	37.99	23.42	0.96	0.55	30.01	0.96	0.55	30.01	30.01	18.50	
				5.25		4.31	0.87	3.75			37.99	163.92								30.01	129.49
Divisa		área das aberturas		área de vidros		fator solar		AVS			AHS			área x AHS							
Tipo	Vidro	larg (m)	altura (m)	área (m²)	larg (m)	altura (m)	FS	FS x área	altura (m)	prot. horiz. (m)	larg (m)	prot. esq. (m)	larg (m)		prot. dir. (m)	AHS					
Fachada		área das aberturas		área de vidros		FS médio		área x AVS			AHS médio			área x AHS							
Frontal		31.64		31.04		0.57	17.69			31.55	979.23				17.98	558.09					
Lateral		18.65		17.47		0.59	10.33			35.78	625.02			16.48	287.87						
Posterior		5.25		4.31		0.87	3.75			37.99	163.92			30.01	129.49						
Divisa		-		-		-	-			-	-			-	-						
Total		55.54		52.83		0.60	31.77			33.47	1.768.16			18.47	975.44						

Projeto padrão original - análise da envoltória – ZB-1

Zona Bioclimática 1 - Curitiba

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

Limite: Fator de forma mínimo (A_{env}/V_{tot}) = 0,17

$$IC_{env} = 10,47.FA + 298,74.FF + 38,41.PAF_T - 1,11.FS - 0,11.AVS + 0,24.AHS - 0,54.PAF_T.AHS + 47,53$$

Eq. 3.4

Tipologia 1 - Elevação Frontal - Orientação Solar Norte

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.10	0.60	0.05	
FS	0.60	0.61	0.87	
AVS	33.472	0	0	
AHS	18.465	0	0	
Icenv	158.77	178.26	156.85	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	162.21	167.57	172.92	178.27
Limite máximo	162.20	167.56	172.91	178.26	-

Classificação

Nível A

Tipologia 2 - Elevação Frontal - Orientação Solar Leste

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.10	0.60	0.05	
FS	0.60	0.61	0.87	
AVS	33.472	0	0	
AHS	18.465	0	0	
Icenv	158.77	178.26	156.85	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	162.21	167.57	172.92	178.27
Limite máximo	162.20	167.56	172.91	178.26	-

Classificação

Nível A

Tipologia 3 - Elevação Frontal - Orientação Solar Sul

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.10	0.60	0.05	
FS	0.60	0.61	0.87	
AVS	33.472	0	0	
AHS	18.465	0	0	
Icenv	158.77	178.26	156.85	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	162.21	167.57	172.92	178.27
Limite máximo	162.20	167.56	172.91	178.26	-

Classificação

Nível A**Tipologia 4 - Elevação Frontal - Orientação Solar Oeste**

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.29	0.60	0.05	
FS	0.60	0.61	0.87	
AVS	33.472	0	0	
AHS	18.465	0	0	
Icenv	164.19	178.26	156.85	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	162.21	167.57	172.92	178.27
Limite máximo	162.20	167.56	172.91	178.26	-

Classificação

Nível B

Projeto padrão original - análise da envoltória – ZB-2 e ZB-3

Zona Bioclimática ZB-2 e ZB-3 - Florianópolis

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

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

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

Eq. 3.6

Tipologia 1 - Elevação Frontal - Orientação Solar Norte

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.10	0.60	0.05	
FS	0.60	0.61	0.87	
AVS	33.472	0	0	
AHS	18.465	0	0	
Icenv	118.44	150.86	124.18	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	130.86	137.53	144.20	150.87
Limite máximo	130.85	137.52	144.19	150.86	-

Classificação

Nível A

Tipologia 2 - Elevação Frontal - Orientação Solar Leste

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.10	0.60	0.05	
FS	0.60	0.61	0.87	
AVS	33.472	0	0	
AHS	18.465	0	0	
Icenv	118.44	150.86	124.18	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	130.86	137.53	144.20	150.87
Limite máximo	130.85	137.52	144.19	150.86	-

Classificação

Nível A

Tipologia 3 - Elevação Frontal - Orientação Solar Sul

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.10	0.60	0.05	
FS	0.60	0.61	0.87	
AVS	33.472	0	0	
AHS	18.465	0	0	
Icenv	118.44	150.86	124.18	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	130.86	137.53	144.20	150.87
Limite máximo	130.85	137.52	144.19	150.86	-

Classificação

Nível A**Tipologia 4 - Elevação Frontal - Orientação Solar Oeste**

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.29	0.60	0.05	
FS	0.60	0.61	0.87	
AVS	33.472	0	0	
AHS	18.465	0	0	
Icenv	126.22	150.86	124.18	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	130.86	137.53	144.20	150.87
Limite máximo	130.85	137.52	144.19	150.86	-

Classificação

Nível A

Projeto padrão original - análise da envoltória – ZB-4 e ZB-5

Zona Bioclimática 4 e 5 - Brasília

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

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

$$IC_{env} = 511,12.FA + 0,92.FF - 95,71.PAF_T - 99,79.FS - 0,52.AVS - 0,29.AHS - 380,83.FA.FF + \frac{4,27}{FF} + 729,20.PAF_T.FS + 77,15$$

Eq. 3.8

Tipologia 1- Elevação Frontal - Orientação Solar Norte

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.10	0.60	0.05	
FS	0.60	0.61	0.87	
AVS	33.472	0	0	
AHS	18.465	0	0	
Icenv	427.74	625.40	416.92	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	469.05	521.17	573.29	625.41
Limite máximo	469.04	521.16	573.28	625.40	-

Classificação

Nível A

Tipologia 2 - Elevação Frontal - Orientação Solar Leste

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.10	0.60	0.05	
FS	0.60	0.61	0.87	
AVS	33.472	0	0	
AHS	18.465	0	0	
Icenv	427.74	625.40	416.92	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	469.05	521.17	573.29	625.41
Limite máximo	469.04	521.16	573.28	625.40	-

Classificação

Nível A

Tipologia 3 - Elevação Frontal - Orientação Solar Sul

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.10	0.60	0.05	
FS	0.60	0.61	0.87	
AVS	33.472	0	0	
AHS	18.465	0	0	
Icenv	427.74	625.40	416.92	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	469.05	521.17	573.29	625.41
Limite máximo	469.04	521.16	573.28	625.40	-

Classificação

Nível A**Tipologia 4 - Elevação Frontal - Orientação Solar Oeste**

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.29	0.60	0.05	
FS	0.60	0.61	0.87	
AVS	33.472	0	0	
AHS	18.465	0	0	
Icenv	493.10	625.40	416.92	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	469.05	521.17	573.29	625.41
Limite máximo	469.04	521.16	573.28	625.40	-

Classificação

Nível B

Projeto padrão original - análise da envoltória – ZB-7

Zona Bioclimática 7 - Cuiabá

Limite: Fator de forma mínimo (A_{env}/V_{tot}) = 0,17

$$IC_{env} = -69,48.FA + 1347,78.FF + 37,74.PAF_T + 3,03.FS - 0,13.AVS - 0,19.AHS + \frac{19,25}{FF} + 0,04 \cdot \frac{AHS}{(PAF_T.FS)} - 306,35$$

Eq. 3.10

Tipologia 1- Elevação Frontal - Orientação Solar Norte

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.10	0.60	0.05	
FS	0.60	0.61	0.87	
AVS	33.472	0	0	
AHS	18.465	0	0	
Icenv	134.73	149.07	129.10	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	134.10	139.09	144.08	149.08
Limite máximo	134.09	139.08	144.07	149.07	-

Classificação

Nível B

Tipologia 2 - Elevação Frontal - Orientação Solar Leste

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.10	0.60	0.05	
FS	0.60	0.61	0.87	
AVS	33.472	0	0	
AHS	18.465	0	0	
Icenv	134.73	149.07	129.10	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	134.10	139.09	144.08	149.08
Limite máximo	134.09	139.08	144.07	149.07	-

Classificação

Nível B

Tipologia 3 - Elevação Frontal - Orientação Solar Sul

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.10	0.60	0.05	
FS	0.60	0.61	0.87	
AVS	33.472	0	0	
AHS	18.465	0	0	
Icenv	134.73	149.07	129.10	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	134.10	139.09	144.08	149.08
Limite máximo	134.09	139.08	144.07	149.07	-

Classificação

Nível B**Tipologia 4 - Elevação Frontal - Orientação Solar Oeste**

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.29	0.60	0.05	
FS	0.60	0.61	0.87	
AVS	33.472	0	0	
AHS	18.465	0	0	
Icenv	133.69	149.07	129.10	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	134.10	139.09	144.08	149.08
Limite máximo	134.09	139.08	144.07	149.07	-

Classificação

Nível A

Projeto padrão original - análise da envoltória – ZB-6 e ZB-8

Zona Bioclimática 6 e 8 - Salvador

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

$$\text{Limite: Fator de forma mínimo } (A_{env}/V_{tot}) = 0,17$$

$$IC_{env} = -160,36.FA + 1277,29.FF - 19,21.PAF_T + 2,95.FS - 0,36.AVS - 0,16.AHS + \\ + 290,25.FF.PAF_T + 0,01.PAF_T.AVS.AHS - 120,58$$

Eq. 3.12

Tipologia 1 - Elevação Frontal - Orientação Solar Norte

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.10	0.60	0.05	
FS	0.60	0.61	0.87	
AVS	33.472	0	0	
AHS	18.465	0	0	
Icenv	132.46	184.96	143.98	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	154.24	164.48	174.73	184.97
Limite máximo	154.23	164.47	174.72	184.96	-

Classificação

Nível A

Tipologia 2 - Elevação Frontal - Orientação Solar Leste

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.10	0.60	0.05	
FS	0.60	0.61	0.87	
AVS	33.472	0	0	
AHS	18.465	0	0	
Icenv	132.46	184.96	143.98	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	154.24	164.48	174.73	184.97
Limite máximo	154.23	164.47	174.72	184.96	-

Classificação

Nível A

Tipologia 3 - Elevação Frontal - Orientação Solar Sul

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.10	0.60	0.05	
FS	0.60	0.61	0.87	
AVS	33.472	0	0	
AHS	18.465	0	0	
Icenv	132.46	184.96	143.98	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	154.24	164.48	174.73	184.97
Limite máximo	154.23	164.47	174.72	184.96	-

Classificação

Nível A**Tipologia 4 - Elevação Frontal - Orientação Solar Oeste**

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.29	0.60	0.05	
FS	0.60	0.61	0.87	
AVS	33.472	0	0	
AHS	18.465	0	0	
Icenv	148.11	184.96	143.98	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	154.24	164.48	174.73	184.97
Limite máximo	154.23	164.47	174.72	184.96	-

Classificação

Nível A

Projeto padrão otimizado - análise da envoltória – ZB-1 – FS, AVS e AHS

ABERTURAS ENVIDRAÇADAS																				
Elevação Frontal										Elevação Lateral										
Tipo	área das aberturas				área de vidros				Fator solar		AVS				AHS				área x AHS	
	larg (m)	altura (m)	área (m²)	FS	FS x área	larg (m)	altura (m)	área (m²)	prot. horiz. (m)	AVS	AVS x área	prot. dir. (m)	AHS	AHS x área	prot. esq. (m)	AHS 1	prot. dir. (m)	AHS 2		AHS
V1L1	laminated 6,76 mm clear Walshs	2,49	3,00	7,47	2,46	2,97	7,31	0,79	5,77	2,99	3,31	45,00	328,78	2,49	8,77	2,17	13,90	6,95	50,77	
V1L2	laminated 6,76 mm clear Walshs	2,94	3,00	8,82	2,91	2,97	8,64	0,79	6,82	2,99	3,31	45,00	388,71	8,77	-	2,17	36,45	18,22	157,41	
PV1	laminated 6,76 mm clear Walshs	0,89	2,10	1,87	0,89	2,07	1,84	0,79	1,46	2,99	3,31	45,00	82,90	5,42	4,72	2,17	24,68	12,34	22,73	
PV2	laminated 6,76 mm clear Walshs	1,38	2,10	2,90	1,38	2,07	2,86	0,79	2,26	2,99	3,31	45,00	128,55	4,03	-	2,17	21,05	10,52	30,07	
Fix	laminated 6,76 mm clear Walshs	2,31	0,49	1,12	2,29	0,49	1,12	0,79	0,88	0,91	3,31	45,00	50,29	5,42	5,64	2,17	21,05	10,52	11,76	
V1L3	laminated 6,76 mm clear Walshs	3,38	2,80	9,46	3,35	2,77	9,28	0,79	7,33	2,79	2,79	45,00	417,58	-	-	-	-	-	272,74	
				31,64			31,04	0,79	24,52			45,00	1,396,80					8,79	-	
Elevação Frontal										Elevação Lateral										
Tipo	área das aberturas				área de vidros				Fator solar		AVS				AHS				área x AHS	
	larg (m)	altura (m)	área (m²)	FS	FS x área	larg (m)	altura (m)	área (m²)	prot. horiz. (m)	AVS	AVS x área	prot. dir. (m)	AHS	AHS x área	prot. esq. (m)	AHS 1	prot. dir. (m)	AHS 2		AHS
V1L2	laminated 6,76 mm clear Walshs	2,18	2,80	6,10	2,15	2,77	5,96	0,79	4,70	2,79	8,77	45,00	268,00	2,17	3,38	45,00	-	-	22,50	134,00
J1	laminated 6,76 mm clear Walshs	3,00	1,00	3,00	2,97	0,95	2,82	0,79	2,23	0,95	0,55	30,17	85,12	2,98	-	2,98	-	-	-	-
J1	laminated 6,76 mm clear Walshs	3,00	1,00	3,00	2,97	0,95	2,82	0,79	2,23	0,95	0,55	30,17	85,12	2,98	-	2,98	-	-	-	-
J1	laminated 6,76 mm clear Walshs	3,00	1,00	3,00	2,97	0,95	2,82	0,79	2,23	0,95	0,55	30,17	85,12	2,98	-	2,98	-	-	-	-
J2	laminated 6,76 mm clear Walshs	2,05	1,00	2,05	2,02	0,90	1,82	0,79	1,44	0,95	0,55	30,17	54,84	2,04	-	2,04	-	-	-	-
J3	crystal 3 mm	1,00	0,75	0,75	0,92	0,67	0,62	0,87	0,54	0,71	0,55	37,99	23,42	0,96	-	0,96	-	-	-	-
J3	crystal 3 mm	1,00	0,75	0,75	0,92	0,67	0,62	0,87	0,54	0,71	0,55	37,99	23,42	0,96	-	0,96	-	-	-	-
				18,65			17,47	0,80	13,90			35,78	625,02					7,67	134,00	
Elevação Posterior										Elevação Lateral										
Tipo	área das aberturas				área de vidros				Fator solar		AVS				AHS				área x AHS	
	larg (m)	altura (m)	área (m²)	FS	FS x área	larg (m)	altura (m)	área (m²)	prot. horiz. (m)	AVS	AVS x área	prot. dir. (m)	AHS	AHS x área	prot. esq. (m)	AHS 1	prot. dir. (m)	AHS 2		AHS
J3	crystal 3 mm	1,00	0,75	0,75	0,92	0,67	0,62	0,87	0,54	0,71	0,55	37,99	23,42	0,96	-	0,96	-	-	-	-
J3	crystal 3 mm	1,00	0,75	0,75	0,92	0,67	0,62	0,87	0,54	0,71	0,55	37,99	23,42	0,96	-	0,96	-	-	-	-
J3	crystal 3 mm	1,00	0,75	0,75	0,92	0,67	0,62	0,87	0,54	0,71	0,55	37,99	23,42	0,96	-	0,96	-	-	-	-
J3	crystal 3 mm	1,00	0,75	0,75	0,92	0,67	0,62	0,87	0,54	0,71	0,55	37,99	23,42	0,96	-	0,96	-	-	-	-
J3	crystal 3 mm	1,00	0,75	0,75	0,92	0,67	0,62	0,87	0,54	0,71	0,55	37,99	23,42	0,96	-	0,96	-	-	-	-
				5,25			4,31	0,87	3,75			37,99	165,92					-	-	
Elevação Divisa										Elevação Divisa										
Tipo	área das aberturas				área de vidros				Fator solar		AVS				AHS				área x AHS	
	larg (m)	altura (m)	área (m²)	FS	FS x área	larg (m)	altura (m)	área (m²)	prot. horiz. (m)	AVS	AVS x área	prot. dir. (m)	AHS	AHS x área	prot. esq. (m)	AHS 1	prot. dir. (m)	AHS 2		AHS
Fachada																				
Frontal	31,64				31,04				0,79		45,00				1,396,80				8,79	
Lateral	18,65				17,47				0,80		35,78				625,02				7,67	
Posterior	5,25				4,31				0,87		37,99				165,92				-	
Divisa	-				-				-		-				-				-	
Total	55,54				52,83				0,80		41,38				2.185,74				7,70	

Equação do RTQ

Zona Bioclimática 1 - Curitiba

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

Limite: Fator de forma mínimo (A_{env}/V_{tot}) = 0,17

$$IC_{env} = 10,47.FA + 298,74.FF + 38,41.PAF_T - 1,11.FS - 0,11.AVS + 0,24.AHS - 0,54.PAF_T.AHS + 47,53$$

Eq. 3.4

Tipologia 1 - Elevação Frontal - Orientação Solar Norte

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.10	0.60	0.05	
FS	0.80	0.61	0.87	
AVS	41.376	0	0	
AHS	7.700	0	0	
Icenv	155.67	178.26	156.85	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	162.21	167.57	172.92	178.27
Limite máximo	162.20	167.56	172.91	178.26	-

Classificação

Nível A

Tipologia 2 - Elevação Frontal - Orientação Solar Leste

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.10	0.60	0.05	
FS	0.80	0.61	0.87	
AVS	41.376	0	0	
AHS	7.700	0	0	
Icenv	155.67	178.26	156.85	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	162.21	167.57	172.92	178.27
Limite máximo	162.20	167.56	172.91	178.26	-

Classificação

Nível A

Tipologia 3 - Elevação Frontal - Orientação Solar Sul

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.10	0.60	0.05	
FS	0.80	0.61	0.87	
AVS	41.376	0	0	
AHS	7.700	0	0	
Icenv	155.67	178.26	156.85	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	162.21	167.57	172.92	178.27
Limite máximo	162.20	167.56	172.91	178.26	-

Classificação

Nível A**Tipologia 4 - Elevação Frontal - Orientação Solar Oeste**

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.29	0.60	0.05	
FS	0.80	0.61	0.87	
AVS	41.376	0	0	
AHS	7.700	0	0	
Icenv	162.20	178.26	156.85	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	162.21	167.57	172.92	178.27
Limite máximo	162.20	167.56	172.91	178.26	-

Classificação

Nível A

Projeto padrão otimizado - análise da envoltória – ZB-4 e ZB-5 – FS

ABERTURAS ENVIDRAÇADAS																			
Elevação Frontal			área das aberturas			área de vidros			Fator solar			AVS			AHS				
Type	largo (m)	altura (m)	área (m²)	largo (m)	altura (m)	área (m²)	FS	FS x área	prot. horiz. (m)	AVS	AVS x área	prot. esq. (m)	AHS 1	largo (m)	prot. dir. (m)	AHS 2	AHS	área x AHS	
VL1	2.49	3.00	7.47	2.46	2.97	7.31	0.34	2.48	2.99	3.31	45.00	2.49	2.20	41.40	8.77	2.17	13.90	27.65	202.00
VL1	2.94	3.00	8.82	2.91	2.97	8.64	0.34	2.94	2.99	3.31	45.00	8.77	2.20	14.05	2.94	2.17	36.45	25.25	218.10
PV1	0.89	2.10	1.87	0.89	2.07	1.84	0.34	0.93	2.99	3.31	45.00	8.77	2.20	22.05	4.72	2.17	24.68	23.36	43.04
PV2	1.38	2.10	2.90	1.38	2.07	2.86	0.34	0.67	2.99	3.31	45.00	5.42	2.20	28.57	5.64	2.17	21.05	24.81	70.87
Fix	2.31	0.49	1.12	2.29	0.49	1.12	0.34	0.38	0.91	3.31	45.00	5.42	2.20	22.05	5.64	2.17	21.05	21.55	24.08
VL3	3.38	2.80	9.46	3.35	2.77	9.28	0.34	3.16	2.79	1.14	22.26	-	-	-	-	-	-	-	-
			31.64			31.04	0.34	10.55			38.20							17.98	558.09

Elevação Lateral																			
área das aberturas			área de vidros			Fator solar			AVS			AHS							
Type	largo (m)	altura (m)	área (m²)	largo (m)	altura (m)	área (m²)	FS	FS x área	prot. horiz. (m)	AVS	AVS x área	prot. esq. (m)	AHS 1	largo (m)	prot. dir. (m)	AHS 2	AHS	área x AHS	
VL2	2.18	2.80	6.10	2.15	2.77	5.96	0.34	2.02	2.79	8.77	45.00	2.17	3.38	45.00	-	-	-	22.50	134.00
J1	3.00	1.00	3.00	2.97	0.95	2.82	0.34	0.96	0.95	0.55	30.17	2.98	10.53	2.98	0.55	10.53	10.53	29.72	29.72
J1	3.00	1.00	3.00	2.97	0.95	2.82	0.34	0.96	0.95	0.55	30.17	2.98	10.53	2.98	0.55	10.53	10.53	29.72	29.72
J2	2.05	1.00	2.05	2.02	0.90	1.82	0.34	0.62	0.95	0.55	30.17	2.98	10.53	2.98	0.55	10.53	10.53	29.72	29.72
J3	1.00	0.75	0.75	0.92	0.67	0.62	0.87	0.54	0.71	0.55	37.99	23.42	0.96	0.55	30.01	0.96	0.55	30.01	18.50
J3	1.00	0.75	0.75	0.92	0.67	0.62	0.87	0.54	0.71	0.55	37.99	23.42	0.96	0.55	30.01	0.96	0.55	30.01	18.50
			18.65			17.47	0.38	6.59			35.78							16.48	287.87

Elevação Posterior																			
área das aberturas			área de vidros			Fator solar			AVS			AHS							
Type	largo (m)	altura (m)	área (m²)	largo (m)	altura (m)	área (m²)	FS	FS x área	prot. horiz. (m)	AVS	AVS x área	prot. esq. (m)	AHS 1	largo (m)	prot. dir. (m)	AHS 2	AHS	área x AHS	
J3	1.00	0.75	0.75	0.92	0.67	0.62	0.87	0.54	0.71	0.55	37.99	23.42	0.96	0.55	30.01	0.96	0.55	30.01	18.50
J3	1.00	0.75	0.75	0.92	0.67	0.62	0.87	0.54	0.71	0.55	37.99	23.42	0.96	0.55	30.01	0.96	0.55	30.01	18.50
J3	1.00	0.75	0.75	0.92	0.67	0.62	0.87	0.54	0.71	0.55	37.99	23.42	0.96	0.55	30.01	0.96	0.55	30.01	18.50
J3	1.00	0.75	0.75	0.92	0.67	0.62	0.87	0.54	0.71	0.55	37.99	23.42	0.96	0.55	30.01	0.96	0.55	30.01	18.50
J3	1.00	0.75	0.75	0.92	0.67	0.62	0.87	0.54	0.71	0.55	37.99	23.42	0.96	0.55	30.01	0.96	0.55	30.01	18.50
			5.25			4.31	0.87	3.75			37.99							30.01	129.49

Divisa																			
área das aberturas			área de vidros			Fator solar			AVS			AHS							
Type	largo (m)	altura (m)	área (m²)	largo (m)	altura (m)	área (m²)	FS	FS x área	prot. horiz. (m)	AVS	AVS x área	prot. esq. (m)	AHS 1	largo (m)	prot. dir. (m)	AHS 2	AHS	área x AHS	
Fachada Frontal			31.64			31.04	0.34	10.55			38.20							17.98	558.09
Fachada Lateral			18.65			17.47	0.38	6.59			35.78							16.48	287.87
Fachada Posterior			5.25			4.31	0.87	3.75			37.99							30.01	129.49
Divisa Total			55.54			52.83	0.40	20.90			37.38							18.47	975.44

Zona Bioclimática 4 e 5 - Brasília

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

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

$$IC_{env} = 511,12.FA + 0,92.FF - 95,71.PAF_T - 99,79.FS - 0,52.AVS - 0,29.AHS - \\ - 380,83.FA.FF + \frac{4,27}{FF} + 729,20.PAF_T.FS + 77,15$$

Eq. 3.8

Tipologia 1- Elevação Frontal - Orientação Solar Norte

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.10	0.60	0.05	
FS	0.40	0.61	0.87	
AVS	37.383	0	0	
AHS	18.465	0	0	
Icenv	431.49	625.40	416.92	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	469.05	521.17	573.29	625.41
Limite máximo	469.04	521.16	573.28	625.40	-

Classificação

Nível A

Tipologia 2 - Elevação Frontal - Orientação Solar Leste

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.10	0.60	0.05	
FS	0.40	0.61	0.87	
AVS	37.383	0	0	
AHS	18.465	0	0	
Icenv	431.49	625.40	416.92	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	469.05	521.17	573.29	625.41
Limite máximo	469.04	521.16	573.28	625.40	-

Classificação

Nível A

Tipologia 3 - Elevação Frontal - Orientação Solar Sul

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.10	0.60	0.05	
FS	0.40	0.61	0.87	
AVS	37.383	0	0	
AHS	18.465	0	0	
Icenv	431.49	625.40	416.92	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	469.05	521.17	573.29	625.41
Limite máximo	469.04	521.16	573.28	625.40	-

Classificação

Nível A**Tipologia 4 - Elevação Frontal - Orientação Solar Oeste**

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.29	0.60	0.05	
FS	0.40	0.61	0.87	
AVS	37.383	0	0	
AHS	18.465	0	0	
Icenv	468.24	625.40	416.92	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	469.05	521.17	573.29	625.41
Limite máximo	469.04	521.16	573.28	625.40	-

Classificação

Nível A

Projeto padrão otimizado - análise da envoltória – ZB-7 – FS

ABERTURAS ENVIDRAÇADAS																					
Elevação Frontal																					
Tipo	área das aberturas		área de vidros		fator solar		AVS		AHS		AVS		AHS								
	larg (m)	altura (m)	larg (m)	altura (m)	FS	FS x área	prot. horiz. (m)	altura (m)	prot. esq. (m)	larg (m)	prot. dir. (m)	AVS	prot. esq. (m)	larg (m)	prot. dir. (m)	AVS	prot. esq. (m)	larg (m)	prot. dir. (m)	área x AHS	
VL1	laminado 8 mm Eco Lite incolor	2.49	3.00	7.47	2.46	2.97	7.31	0.57	4.16	2.99	3.31	45.00	328.78	2.49	2.20	41.40	8.77	2.17	13.90	27.65	202.00
VL1	laminado 8 mm Eco Lite incolor	2.94	3.00	8.82	2.91	2.97	8.64	0.57	4.92	2.99	3.31	45.00	388.71	8.77	2.20	14.05	2.94	2.17	36.45	25.25	218.10
PV1	laminado 8 mm Eco Lite incolor	0.89	2.10	1.87	0.89	2.07	1.84	0.57	1.05	2.99	3.31	45.00	82.90	5.42	2.20	22.05	4.72	2.17	24.68	23.36	43.04
PV2	laminado 8 mm Eco Lite incolor	2.31	2.10	2.90	1.38	2.07	2.86	0.57	1.63	2.99	3.31	45.00	128.55	4.03	2.20	28.57	5.64	2.17	21.05	24.81	70.87
Fix	laminado 8 mm Eco Lite incolor	2.31	0.49	1.12	2.29	0.49	1.12	0.57	0.64	0.91	3.31	45.00	50.29	5.42	2.20	22.05	5.64	2.17	21.05	21.55	24.08
VL3	laminado 8 mm Eco Lite incolor	3.38	2.80	9.46	3.35	2.77	9.28	0.57	5.29	2.79	1.14	22.26	206.60	-	-	-	-	-	-	-	-
				31.64			31.04	0.57	17.69			38.20	1.185.83							17.98	5.58.09
Elevação Lateral																					
Tipo	área das aberturas		área de vidros		fator solar		AVS		AHS		AVS		AHS								
	larg (m)	altura (m)	larg (m)	altura (m)	FS	FS x área	prot. horiz. (m)	altura (m)	prot. esq. (m)	larg (m)	prot. dir. (m)	AVS	prot. esq. (m)	larg (m)	prot. dir. (m)	AVS	prot. esq. (m)	larg (m)	prot. dir. (m)	área x AHS	
J1	laminado 8 mm Eco Lite incolor	2.18	2.80	6.10	2.15	2.77	5.96	0.57	3.39	2.79	8.77	45.00	268.00	2.17	3.38	45.00	-	-	-	22.50	134.00
J1	laminado 8 mm Eco Lite incolor	3.00	1.00	3.00	2.97	0.95	2.82	0.57	1.61	0.95	0.55	30.17	85.12	2.98	0.55	10.53	2.98	0.55	10.53	10.53	29.72
J1	laminado 8 mm Eco Lite incolor	3.00	1.00	3.00	2.97	0.95	2.82	0.57	1.61	0.95	0.55	30.17	85.12	2.98	0.55	10.53	2.98	0.55	10.53	10.53	29.72
J2	laminado 6,76 mm clear Walshs	2.05	1.00	2.05	2.02	0.90	1.82	0.79	1.44	0.95	0.55	30.17	54.84	2.04	0.55	15.24	2.04	0.55	15.24	15.24	27.71
J3	crystal 3 mm	1.00	0.75	0.75	0.92	0.67	0.62	0.87	0.54	0.71	0.55	37.99	23.42	0.96	0.55	30.01	0.96	0.55	30.01	30.01	18.50
J3	crystal 3 mm	1.00	0.75	0.75	0.92	0.67	0.62	0.87	0.54	0.71	0.55	37.99	23.42	0.96	0.55	30.01	0.96	0.55	30.01	30.01	18.50
				18.65			17.47	0.61	10.73			35.78	625.02							16.48	287.87
Elevação Posterior																					
Tipo	área das aberturas		área de vidros		fator solar		AVS		AHS		AVS		AHS								
	larg (m)	altura (m)	larg (m)	altura (m)	FS	FS x área	prot. horiz. (m)	altura (m)	prot. esq. (m)	larg (m)	prot. dir. (m)	AVS	prot. esq. (m)	larg (m)	prot. dir. (m)	AVS	prot. esq. (m)	larg (m)	prot. dir. (m)	área x AHS	
J3	crystal 3 mm	1.00	0.75	0.75	0.92	0.67	0.62	0.87	0.54	0.71	0.55	37.99	23.42	0.96	0.55	30.01	0.96	0.55	30.01	30.01	18.50
J3	crystal 3 mm	1.00	0.75	0.75	0.92	0.67	0.62	0.87	0.54	0.71	0.55	37.99	23.42	0.96	0.55	30.01	0.96	0.55	30.01	30.01	18.50
J3	crystal 3 mm	1.00	0.75	0.75	0.92	0.67	0.62	0.87	0.54	0.71	0.55	37.99	23.42	0.96	0.55	30.01	0.96	0.55	30.01	30.01	18.50
J3	crystal 3 mm	1.00	0.75	0.75	0.92	0.67	0.62	0.87	0.54	0.71	0.55	37.99	23.42	0.96	0.55	30.01	0.96	0.55	30.01	30.01	18.50
J3	crystal 3 mm	1.00	0.75	0.75	0.92	0.67	0.62	0.87	0.54	0.71	0.55	37.99	23.42	0.96	0.55	30.01	0.96	0.55	30.01	30.01	18.50
				5.25			4.31	0.87	3.75			37.99	163.92							30.01	129.49
Divisa																					
Tipo	área das aberturas		área de vidros		fator solar		AVS		AHS		AVS		AHS								
	larg (m)	altura (m)	larg (m)	altura (m)	FS	FS x área	prot. horiz. (m)	altura (m)	prot. esq. (m)	larg (m)	prot. dir. (m)	AVS	prot. esq. (m)	larg (m)	prot. dir. (m)	AVS	prot. esq. (m)	larg (m)	prot. dir. (m)	área x AHS	
Fachada																					
Frontal																					
Lateral																					
Posterior																					
Divisa																					
Total							52.83	0.61	32.17			37.38	1.974.77							18.47	975.44

Zona Bioclimática 7 - Cuiabá

Limite: Fator de forma mínimo (A_{env}/V_{tot}) = 0,17

$$IC_{env} = -69,48.FA + 1347,78.FF + 37,74.PAF_T + 3,03.FS - 0,13.AVS - 0,19.AHS + \frac{19,25}{FF} + 0,04 \cdot \frac{AHS}{(PAF_T.FS)} - 306,35$$

Eq. 3.10

Tipologia 1- Elevação Frontal - Orientação Solar Norte

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.10	0.60	0.05	
FS	0.61	0.61	0.87	
AVS	37.383	0	0	
AHS	18.465	0	0	
Icenv	134.09	149.07	129.10	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	134.10	139.09	144.08	149.08
Limite máximo	134.09	139.08	144.07	149.07	-

Classificação

Nível A

Tipologia 2 - Elevação Frontal - Orientação Solar Leste

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.10	0.60	0.05	
FS	0.61	0.61	0.87	
AVS	37.383	0	0	
AHS	18.465	0	0	
Icenv	134.09	149.07	129.10	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	134.10	139.09	144.08	149.08
Limite máximo	134.09	139.08	144.07	149.07	-

Classificação

Nível A

Tipologia 3 - Elevação Frontal - Orientação Solar Sul

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.10	0.60	0.05	
FS	0.61	0.61	0.87	
AVS	37.383	0	0	
AHS	18.465	0	0	
Icenv	134.09	149.07	129.10	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	134.10	139.09	144.08	149.08
Limite máximo	134.09	139.08	144.07	149.07	-

Classificação

Nível A**Tipologia 4 - Elevação Frontal - Orientação Solar Oeste**

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.29	0.60	0.05	
FS	0.61	0.61	0.87	
AVS	37.383	0	0	
AHS	18.465	0	0	
Icenv	133.15	149.07	129.10	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	134.10	139.09	144.08	149.08
Limite máximo	134.09	139.08	144.07	149.07	-

Classificação

Nível A

Projeto padrão otimizado - análise da envoltória – ZB-7 – AVS

ABERTURAS ENVIDRAÇADAS																									
Elevação Frontal																									
Tipo	área das aberturas				área de vidros				fator solar		AVS				AHS										
	larg (m)	altura (m)	área (m²)	área (m²)	larg (m)	altura (m)	área (m²)	área (m²)	FS	FS x área	prot. horiz. (m)	AVS	AVS x área	larg (m)	prot. esq. (m)	AHS 1	larg (m)	prot. dir. (m)	AHS 2	área x AHS					
VL1	laminado 8 mm Eco Lite incolor	2.49	3.00	7.47	2.46	2.97	7.31	0.57	4.16	2.99	3.31	45.00	328.78	2.49	2.20	41.40	8.77	2.17	13.90	27.65	202.00				
VL1	laminado 8 mm Eco Lite incolor	2.94	3.00	8.82	2.91	2.97	8.64	0.57	4.92	2.99	3.31	45.00	388.71	8.77	2.20	14.05	2.94	2.17	36.45	25.25	218.10				
PV1	laminado 8 mm Eco Lite incolor	0.89	2.10	1.87	0.89	2.07	1.84	0.57	1.05	2.99	3.31	45.00	82.90	5.42	2.20	22.05	4.72	2.17	24.68	23.36	43.04				
PV2	laminado 8 mm Eco Lite incolor	1.38	2.10	2.90	1.38	2.07	2.86	0.57	1.63	2.99	3.31	45.00	128.55	4.03	2.20	28.57	5.64	2.17	21.05	24.81	70.87				
Fix	laminado 8 mm Eco Lite incolor	2.31	0.49	1.12	2.29	0.49	1.12	0.57	0.64	0.91	3.31	45.00	50.29	5.42	2.20	22.05	5.64	2.17	21.05	21.55	24.08				
VL3	laminado 8 mm Eco Lite incolor	3.38	2.80	9.46	3.35	2.77	9.28	0.57	5.29	2.79	2.14	37.54	348.34	-	-	-	-	-	-	-	558.09				
				31.04	0.57	17.69					42.77	1.327.57					17.98								
Elevação Lateral																									
Tipo	área das aberturas				área de vidros				fator solar		AVS				AHS										
	larg (m)	altura (m)	área (m²)	área (m²)	larg (m)	altura (m)	área (m²)	área (m²)	FS	FS x área	prot. horiz. (m)	AVS	AVS x área	larg (m)	prot. esq. (m)	AHS 1	larg (m)	prot. dir. (m)	AHS 2	área x AHS					
VL2	laminado 8 mm Eco Lite incolor	2.18	2.80	6.10	2.15	2.77	5.96	0.57	3.39	2.79	8.77	45.00	268.00	2.17	3.38	45.00	-	-	-	22.50	134.00				
J1	laminado 8 mm Eco Lite incolor	3.00	1.00	3.00	2.97	0.95	2.82	0.57	1.61	0.95	0.55	30.17	85.12	2.98	0.55	10.53	2.98	0.55	10.53	10.53	29.72				
J1	laminado 8 mm Eco Lite incolor	3.00	1.00	3.00	2.97	0.95	2.82	0.57	1.61	0.95	0.55	30.17	85.12	2.98	0.55	10.53	2.98	0.55	10.53	10.53	29.72				
J1	laminado 8 mm Eco Lite incolor	3.00	1.00	3.00	2.97	0.95	2.82	0.57	1.61	0.95	0.55	30.17	85.12	2.98	0.55	10.53	2.98	0.55	10.53	10.53	29.72				
J2	laminado 8 mm Eco Lite incolor	2.05	1.00	2.05	2.02	0.90	1.82	0.57	1.04	0.95	0.55	30.17	54.84	2.04	0.55	15.24	2.04	0.55	15.24	15.24	27.71				
J3	crystal 3 mm	1.00	0.75	0.75	0.92	0.67	0.62	0.87	0.84	0.71	0.55	37.99	23.42	0.96	0.55	30.01	0.96	0.55	30.01	30.01	18.50				
J3	crystal 3 mm	1.00	0.75	0.75	0.92	0.67	0.62	0.87	0.87	0.54	0.55	37.99	23.42	0.96	0.55	30.01	0.96	0.55	30.01	30.01	18.50				
				18.65					17.47	0.59	10.33					35.78	625.02								
Elevação Posterior																									
Tipo	área das aberturas				área de vidros				fator solar		AVS				AHS										
	larg (m)	altura (m)	área (m²)	área (m²)	larg (m)	altura (m)	área (m²)	área (m²)	FS	FS x área	prot. horiz. (m)	AVS	AVS x área	larg (m)	prot. esq. (m)	AHS 1	larg (m)	prot. dir. (m)	AHS 2	área x AHS					
J3	crystal 3 mm	1.00	0.75	0.75	0.92	0.67	0.62	0.87	0.87	0.71	0.55	37.99	23.42	0.96	0.55	30.01	0.96	0.55	30.01	30.01	18.50				
J3	crystal 3 mm	1.00	0.75	0.75	0.92	0.67	0.62	0.87	0.87	0.54	0.55	37.99	23.42	0.96	0.55	30.01	0.96	0.55	30.01	30.01	18.50				
J3	crystal 3 mm	1.00	0.75	0.75	0.92	0.67	0.62	0.87	0.87	0.71	0.55	37.99	23.42	0.96	0.55	30.01	0.96	0.55	30.01	30.01	18.50				
J3	crystal 3 mm	1.00	0.75	0.75	0.92	0.67	0.62	0.87	0.87	0.54	0.55	37.99	23.42	0.96	0.55	30.01	0.96	0.55	30.01	30.01	18.50				
J3	crystal 3 mm	1.00	0.75	0.75	0.92	0.67	0.62	0.87	0.87	0.54	0.55	37.99	23.42	0.96	0.55	30.01	0.96	0.55	30.01	30.01	18.50				
				5.25					4.31	0.87	3.75					37.99	163.92								
Divisa																									
Tipo	área das aberturas				área de vidros				fator solar		AVS				AHS										
	larg (m)	altura (m)	área (m²)	área (m²)	larg (m)	altura (m)	área (m²)	área (m²)	FS	FS x área	prot. horiz. (m)	AVS	AVS x área	larg (m)	prot. esq. (m)	AHS 1	larg (m)	prot. dir. (m)	AHS 2	área x AHS					
Frontal			31.04				31.04		0.57	17.69															
Lateral			18.65				17.47		0.59	10.33															
Posterior			5.25				4.31		0.87	3.75															
Divisa			-				-		-	-															
Total			55.54				52.83		0.60	31.77															
										40.07	2.116.50					18.47	975.44								
														17.98	558.09					16.48	287.87				
														30.01	129.49					30.01	18.50				

Zona Bioclimática 7 - Cuiabá

Limite: Fator de forma mínimo (A_{env}/V_{tot}) = 0,17

$$IC_{env} = -69,48.FA + 1347,78.FF + 37,74.PAF_T + 3,03.FS - 0,13.AVS - 0,19.AHS + \frac{19,25}{FF} + 0,04 \cdot \frac{AHS}{(PAF_T.FS)} - 306,35$$

Eq. 3.10

Tipologia 1- Elevação Frontal - Orientação Solar Norte

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.10	0.60	0.05	
FS	0.60	0.61	0.87	
AVS	40.066	0	0	
AHS	18.465	0	0	
Icenv	133.88	149.07	129.10	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	134.10	139.09	144.08	149.08
Limite máximo	134.09	139.08	144.07	149.07	-

Classificação

Nível A

Tipologia 2 - Elevação Frontal - Orientação Solar Leste

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.10	0.60	0.05	
FS	0.60	0.61	0.87	
AVS	40.066	0	0	
AHS	18.465	0	0	
Icenv	133.88	149.07	129.10	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	134.10	139.09	144.08	149.08
Limite máximo	134.09	139.08	144.07	149.07	-

Classificação

Nível A

Tipologia 3 - Elevação Frontal - Orientação Solar Sul

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.10	0.60	0.05	
FS	0.60	0.61	0.87	
AVS	40.066	0	0	
AHS	18.465	0	0	
Icenv	133.88	149.07	129.10	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	134.10	139.09	144.08	149.08
Limite máximo	134.09	139.08	144.07	149.07	-

Classificação

Nível A**Tipologia 4 - Elevação Frontal - Orientação Solar Oeste**

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.29	0.60	0.05	
FS	0.60	0.61	0.87	
AVS	40.066	0	0	
AHS	18.465	0	0	
Icenv	132.83	149.07	129.10	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	134.10	139.09	144.08	149.08
Limite máximo	134.09	139.08	144.07	149.07	-

Classificação

Nível A

Projeto padrão otimizado - análise da envoltória – ZB-7 – AHS

ABERTURAS ENVIDRAÇADAS																							
Elevação Frontal																							
Tipo	área das aberturas			área de vidros			fator solar		AVS			AHS			área x AHS								
	larg (m)	altura (m)	área (m²)	larg (m)	altura (m)	área (m²)	FS	FS x área	prot. horiz. (m)	AVS	prot. dir. (m)	AHS	prot. dir. (m)	área x AHS									
VL1	laminado 8 mm Eco Lite incolor	2.49	3.00	7.47	2.46	2.97	7.31	0.57	4.16	2.99	3.31	45.00	328.78	2.49	2.20	41.40	8.77	2.17	13.90	27.65	202.00		
VL1	laminado 8 mm Eco Lite incolor	2.94	3.00	8.82	2.91	2.97	8.64	0.57	4.92	2.99	3.31	45.00	388.71	8.77	2.20	14.05	2.94	2.17	36.45	23.25	218.10		
PV1	laminado 8 mm Eco Lite incolor	0.89	2.10	1.87	0.89	2.07	1.84	0.57	1.05	2.99	3.31	45.00	38.90	5.42	2.20	22.05	4.72	2.17	24.68	23.36	43.04		
PV2	laminado 8 mm Eco Lite incolor	1.38	2.10	2.90	1.38	2.07	2.86	0.57	1.63	2.99	3.31	45.00	128.55	4.03	2.20	28.57	5.64	2.17	21.05	24.81	70.87		
Fix	laminado 8 mm Eco Lite incolor	2.31	0.49	1.12	2.29	0.49	1.12	0.57	0.64	0.91	3.31	45.00	50.29	5.42	2.20	22.05	5.64	2.17	21.05	21.55	24.08		
VL3	laminado 8 mm Eco Lite incolor	3.38	2.80	9.46	3.35	2.77	9.28	0.57	5.29	2.79	1.14	22.26	206.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				31.64			31.04	0.57	17.69			38.20	1.185.83							17.98	5.58.09		
Elevação Lateral																							
Tipo	área das aberturas			área de vidros			fator solar		AVS			AHS			área x AHS								
	larg (m)	altura (m)	área (m²)	larg (m)	altura (m)	área (m²)	FS	FS x área	prot. horiz. (m)	AVS	prot. dir. (m)	AHS	prot. dir. (m)	área x AHS									
VL2	laminado 8 mm Eco Lite incolor	2.18	2.80	6.10	2.15	2.77	5.96	0.57	3.39	2.79	8.77	45.00	268.00	2.17	3.38	45.00	-	-	-	-	-	134.00	
J1	laminado 8 mm Eco Lite incolor	3.00	1.00	3.00	2.97	0.95	2.82	0.57	1.61	0.95	0.55	30.17	85.12	2.98	-	2.98	-	2.98	-	-	-	-	
J1	laminado 8 mm Eco Lite incolor	3.00	1.00	3.00	2.97	0.95	2.82	0.57	1.61	0.95	0.55	30.17	85.12	2.98	-	2.98	-	2.98	-	-	-	-	
J1	laminado 8 mm Eco Lite incolor	3.00	1.00	3.00	2.97	0.95	2.82	0.57	1.61	0.95	0.55	30.17	85.12	2.98	-	2.98	-	2.98	-	-	-	-	
J2	laminado 8 mm Eco Lite incolor	2.05	1.00	2.05	2.02	0.90	1.82	0.57	1.04	0.95	0.55	30.17	54.84	2.04	-	2.04	-	2.04	-	-	-	-	
J3	crystal 3 mm	1.00	0.75	0.75	0.92	0.67	0.62	0.87	0.54	0.71	0.55	37.99	23.42	0.96	-	0.96	-	0.96	-	-	-	-	
J3	crystal 3 mm	1.00	0.75	0.75	0.92	0.67	0.62	0.87	0.54	0.71	0.55	37.99	23.42	0.96	-	0.96	-	0.96	-	-	-	-	
				18.65			17.47	0.59	10.33			35.78	625.02							7.67	134.00		
Elevação Posterior																							
Tipo	área das aberturas			área de vidros			fator solar		AVS			AHS			área x AHS								
	larg (m)	altura (m)	área (m²)	larg (m)	altura (m)	área (m²)	FS	FS x área	prot. horiz. (m)	AVS	prot. dir. (m)	AHS	prot. dir. (m)	área x AHS									
J3	crystal 3 mm	1.00	0.75	0.75	0.92	0.67	0.62	0.87	0.54	0.71	0.55	37.99	23.42	0.96	-	0.96	-	0.96	-	-	-	-	
J3	crystal 3 mm	1.00	0.75	0.75	0.92	0.67	0.62	0.87	0.54	0.71	0.55	37.99	23.42	0.96	-	0.96	-	0.96	-	-	-	-	
J3	crystal 3 mm	1.00	0.75	0.75	0.92	0.67	0.62	0.87	0.54	0.71	0.55	37.99	23.42	0.96	-	0.96	-	0.96	-	-	-	-	
J3	crystal 3 mm	1.00	0.75	0.75	0.92	0.67	0.62	0.87	0.54	0.71	0.55	37.99	23.42	0.96	-	0.96	-	0.96	-	-	-	-	
J3	crystal 3 mm	1.00	0.75	0.75	0.92	0.67	0.62	0.87	0.54	0.71	0.55	37.99	23.42	0.96	-	0.96	-	0.96	-	-	-	-	
				5.25			4.31	0.87	3.75			37.99	163.92							-	-		
Divisa																							
área das aberturas																							
Tipo	área das aberturas			área de vidros			fator solar		AVS			AHS			área x AHS								
	larg (m)	altura (m)	área (m²)	larg (m)	altura (m)	área (m²)	FS	FS x área	prot. horiz. (m)	AVS	prot. dir. (m)	AHS	prot. dir. (m)	área x AHS									
Fachada																							
Frontal			31.64			31.04	0.57	17.69				38.20	1.185.83										
Lateral			18.65			17.47	0.59	10.33				35.78	625.02										
Posterior			5.25			4.31	0.87	3.75				-	-										
Divisa			-			-	-	-				-	-										
Total			55.54			52.83	0.60	31.77				37.38	1.974.77										
																				13.10	692.09		

Zona Bioclimática 7 - Cuiabá

Limite: Fator de forma mínimo (A_{env}/V_{tot}) = 0,17

$$IC_{env} = -69,48.FA + 1347,78.FF + 37,74.PAF_T + 3,03.FS - 0,13.AVS - 0,19.AHS + \frac{19,25}{FF} + 0,04 \cdot \frac{AHS}{(PAF_T.FS)} - 306,35$$

Eq. 3.10

Tipologia 1- Elevação Frontal - Orientação Solar Norte

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.10	0.60	0.05	
FS	0.60	0.61	0.87	
AVS	37.383	0	0	
AHS	13.101	0	0	
Icenv	131.62	149.07	129.10	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	134.10	139.09	144.08	149.08
Limite máximo	134.09	139.08	144.07	149.07	-

Classificação

Nível A

Tipologia 2 - Elevação Frontal - Orientação Solar Leste

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.10	0.60	0.05	
FS	0.60	0.61	0.87	
AVS	37.383	0	0	
AHS	13.101	0	0	
Icenv	131.62	149.07	129.10	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	134.10	139.09	144.08	149.08
Limite máximo	134.09	139.08	144.07	149.07	-

Classificação

Nível A

Tipologia 3 - Elevação Frontal - Orientação Solar Sul

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.10	0.60	0.05	
FS	0.60	0.61	0.87	
AVS	37.383	0	0	
AHS	13.101	0	0	
Icenv	131.62	149.07	129.10	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	134.10	139.09	144.08	149.08
Limite máximo	134.09	139.08	144.07	149.07	-

Classificação

Nível A**Tipologia 4 - Elevação Frontal - Orientação Solar Oeste**

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	intervalo i
FA	1.00	1.00	1.00	
FF	0.33	0.33	0.33	
PAFT	0.29	0.60	0.05	
FS	0.60	0.61	0.87	
AVS	37.383	0	0	
AHS	13.101	0	0	
Icenv	132.97	149.07	129.10	

Tabela com os intervalos dos níveis de eficiência para classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	134.10	139.09	144.08	149.08
Limite máximo	134.09	139.08	144.07	149.07	-

Classificação

Nível A

GLOSSÁRIO

Abertura: todas as áreas da envoltória do edifício, com fechamento translúcido ou transparente (que permite a entrada da luz), incluindo janelas, painéis plásticos, clarabóias, portas de vidro (com mais da metade da área de vidro) e paredes de blocos de vidro. Excluem vãos sem fechamentos e elementos vazados como cobogós.

Ambiente: espaço interno de um edifício, fechado por superfícies sólidas, tais como paredes ou divisórias, teto, piso e dispositivos operáveis tais como janelas e portas.

Ambiente de permanência prolongada: ambientes de ocupação contínua por um ou mais indivíduos, incluindo escritórios, área de venda de mercadoria, salas de aulas, cozinhas, áreas de refeição, circulação de público em shoppings centers fechados, laboratórios, consultórios, saguões de entrada onde haja portaria ou recepção com ocupante, locais para prática de esportes, etc. Não são ambientes de permanência prolongada: garagens e estacionamentos, depósitos, despensas, banheiros, áreas de circulação em geral, áreas técnicas onde a ocupação não é freqüente, etc. Os ambientes listados nesta definição não excluem outros não listados.

Ambiente condicionado: ambiente fechado atendido por sistema de condicionamento de ar.

AC: Área Condicionada (m²): área de piso dos ambientes condicionados.

ANC: Área Não Condicionada (m²): área de piso dos ambientes não condicionados de permanência prolongada.

APB: Área de Permanência Breve (m²): área de piso dos ambientes de permanência breve, desde que não condicionados.

Ape: Área de projeção do edifício (m²): área da projeção horizontal do edifício (quando os edifícios são de formato uniforme) ou área de projeção média dos pavimentos, excluindo subsolos (no caso de edifícios com formato irregular).

AU: Área Útil (m²): para uso no Regulamento, a área útil é a área realmente disponível para ocupação, medida entre os paramentos internos das paredes que delimitam o ambiente, excluindo garagens.

Atot: Área total de piso (m²): soma das áreas de piso fechadas de construção, medidas externamente.

Aenv: Área da envoltória (m²): soma das áreas das fachadas e empenas e da área de cobertura, incluindo a área das aberturas.

Ângulos de sombreamento: ângulos que determinam a obstrução à radiação solar gerada pela proteção solar nas aberturas. No regulamento são usados dois ângulos: ângulo vertical de sombreamento (referente a proteções horizontais) e ângulo horizontal de sombreamento (referente a proteções verticais). O autosombreamento (sombreamento ocasionado pelo próprio edifício sobre si mesmo) deve ser usado para cálculo dos ângulos de sombreamento. Já sombreamento proveniente do entorno (edifícios vizinhos e/ou acidentes geográficos) não deve ser usado no cálculo dos ângulos de sombreamento do método prescritivo. Entretanto, o sombreamento proveniente do entorno pode fazer parte do método de simulação (uso opcional) e, quando usado, deve ser incluído somente no modelo do edifício real.

AVS: Ângulo Vertical de Sombreamento: ângulo formado entre 2 planos que contêm a base da abertura: o primeiro é o plano vertical na base da folha de vidro (ou material translúcido). o segundo plano é formado pela extremidade mais distante da proteção solar horizontal até a base da folha de vidro (ou material translúcido).

AHS: Ângulo Horizontal de Sombreamento: ângulo formado entre 2 planos verticais: o primeiro plano é o que contém a base da folha de vidro (ou material translúcido). o segundo plano é formado pela extremidade mais distante da proteção solar vertical e a extremidade oposta da base da folha de vidro (ou material translúcido).

Edifícios Comerciais e de Serviços: aqueles, públicos e/ou privados, usados com finalidade que não a residencial ou industrial. São considerados comerciais, de serviços ou públicos: escolas; instituições ou associações de diversos tipos, incluindo prática de esportes; tratamento de saúde de animais ou humanos, tais como hospitais, postos de saúde e clínicas; vendas de mercadorias em geral; prestação de serviços; bancos; diversão; preparação e venda de alimentos; escritórios e edifícios empresariais, de uso de entidades, instituições ou organizações públicas municipais, estaduais e federais, incluindo sedes de empresas ou indústrias, desde que não haja a atividade de produção nesta última; edifícios destinados a hospedagem, sejam eles hotéis, motéis, resorts, pousadas ou similares. As atividades listadas nesta definição não excluem outras não listadas.

Envoltória (Env): planos externos da edificação, compostos por fachadas, empenas, cobertura, brises, marquises, aberturas, assim como quaisquer elementos que os compõem.

Fator Altura (FA): razão entre a área de projeção do edifício e a área de piso (Ape/Atot).

Fator de Forma (FF): razão entre a área da envoltória e o volume do edifício (A_{env}/V_{tot}).

Fachada: superfícies externas verticais ou com inclinação superior a 60° em relação à horizontal. Inclui as superfícies opacas, translúcidas, transparentes e vazadas, como cobogós e vãos de entrada. A orientação das fachadas influencia na eficiência da envoltória. Por esse motivo é necessário definir a orientação de cada fachada. Esta determinação é feita através da implantação de um edifício dentro de um quadrante definido da seguinte forma: de 0 a $45,0^\circ$ e de $315,1^\circ$ a $360,0^\circ$ a orientação geográfica é Norte; de $45,10^\circ$ a $135,0^\circ$, a orientação geográfica é Leste; de $135,10^\circ$ a $225,0^\circ$, a orientação geográfica é Sul; de $225,10^\circ$ a $315,0^\circ$, a orientação geográfica é Oeste.

Fator Solar (FS): razão entre o ganho de calor que entra num ambiente através de uma abertura e a radiação solar incidente nesta mesma abertura. Inclui o calor radiante transmitido pelo vidro e a radiação solar absorvida, que é re-irradiada ou transmitida, por condução ou convecção, ao ambiente. O fator solar considerado será relativo a uma incidência de radiação solar ortogonal à abertura. A ISO 15099: 2003 e a ISO 9050: 2003 apresentam procedimentos de cálculos normalizados para o FS e outros índices de desempenho energético de vidros e janelas com panos envidraçados simples ou múltiplos e também algumas tipologias de proteções solares internas (ex. venezianas). A NFRC 201:2004 apresenta procedimentos e especificações técnicas normalizadas para aplicação de um método calorimétrico de medição de ganho de calor solar em janelas.

IC_{env}: Indicador de Consumo da envoltória.

PAFO: Percentual de Área de Abertura na Fachada oeste (%).

PAFT: Percentual de Área de Abertura na Fachada total (%): É calculado pela razão entre a soma das áreas de abertura envidraçada, ou com fechamento transparente ou translúcido, de cada fachada e a área total de fachada da edificação. Refere-se exclusivamente a aberturas em paredes verticais com inclinação superior a 60° em relação ao plano horizontal, tais como janelas tradicionais, portas de vidro ou sheds, mesmo sendo estes últimos localizados na cobertura. Exclui área externa de caixa d'água no cômputo da área de fachada, mas inclui a área da caixa de escada até o ponto mais alto da cobertura (cumeeira). Nesse Regulamento, sua inserção nas equações deve ser sob forma de fração (0 a 1).

Paredes externas: superfícies opacas que delimitam o interior do exterior da edificação; esta definição exclui as aberturas.

PAZ: Percentual de Abertura Zenital (%): Percentual de área de abertura zenital na cobertura. Refere-se exclusivamente a aberturas em superfícies com inclinação inferior a 60° em relação ao plano horizontal. Deve-se calcular a projeção horizontal da abertura. Acima desta inclinação, ver PAFT.

PT: Pontuação Total.

Transmitância térmica (W/(m².K)): transmissão de calor em unidade de tempo e através de uma área unitária de um elemento ou componente construtivo, neste caso, de componentes opacos das fachadas (paredes externas) ou coberturas, incluindo as resistências superficiais interna e externa, induzida pela diferença de temperatura entre dois ambientes. A transmitância térmica deve ser calculada utilizando o método de cálculo da NBR 15220-2 (ABNT, 2005) ou determinada pelo método da caixa quente protegida da NBR 6488 (ABNT, 1980).

U_{cob}: Transmitância térmica da cobertura (W/(m².K)).

U_{par}: Transmitância térmica das paredes (W/(m².K)): neste regulamento, refere-se à transmitância de paredes externas somente.

V_{tot}: Volume total da edificação (m³): volume delimitado pelos fechamentos externos do edifício (fachadas e cobertura), com exceção de pátios internos descobertos.

Zona Bioclimática: região geográfica homogênea quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano.