

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO**

BRUNO GABRIEL FREITAS OLIVEIRA

**ANÁLISE DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES:
APLICAÇÃO ANALÍTICA DO RTQ-C NO EDIFÍCIO DO CEAMAZON**

Belém, PA
2013

BRUNO GABRIEL FREITAS OLIVEIRA

**ANÁLISE DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES:
APLICAÇÃO ANALÍTICA DO RTQ-C NO EDIFÍCIO DO CEAMAZON**

Disertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Prof^a. Dr.^a Maria Emília de Lima Tostes

Co-orientador: Prof. Dr. Irving Montanar Franco

Área de Concentração - Desempenho Ambiental e Tecnologia

Belém, PA
2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Oliveira, Bruno Gabriel Freitas, 1983-
Análise do desempenho energético de
edificações: aplicação analítica do rtq-c no
edifício do ceamazon / Bruno Gabriel Freitas
Oliveira. - 2013.

Orientadora: Maria Emília de Lima Tostes;
Coorientador: Irving Montanar Franco.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de
Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Belém,
2013.

1. Arquitetura e conservação de energia. 2.
Energia-Consumo. 3. Energia-Conservação. I.
Título.

CDD 22. ed. 720.472

Bruno Gabriel Freitas Oliveira

Análise do Desempenho Energético de Edificações: Aplicação Analítica do Rtq-C no Edifício do Ceamazon.

Dissetação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de mestre.
Área de Concentração - Desempenho Ambiental e Tecnologia

Aprovado em 27 de Março de 2013

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr.^a Maria Emília De Lima Tostes (Orientadora)
Universidade Federal do Pará – UFPA

Prof^o. PhD. José Júlio Lima (Membro do PPGAU)
Universidade Federal do Pará – UFPA

Prof^a. Dr.^a Carminda Célia Moura de Moura Carvalho (Membro Externo)
Universidade Federal do Pará – UFPA

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha esposa Djanira,
aos meus pais, familiares e amigos.

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo agradeço a Deus, pois estou convicto que definitivamente sem Ele nada disso seria possível;

À Prof^a Dr.^a Maria Emília de Lima Tostes que, além de ter me orientado, contribuiu para o desenvolvimento deste trabalho e sempre se colocou a disposição para que o mesmo pudesse ser concluído;

Ao Prof.^o Dr.^o Irving Montanar Franco por sua ativa cooperação nas orientações e ensaios experimentais no transcorrer da elaboração desta dissertação;

Ao Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Pará pela oportunidade de enriquecer meus conhecimentos;

Aos professores do Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo que tive a oportunidade e o privilégio de receber ensinamentos e incentivo: Prof.^a Dr.^a Maria Emília de Lima Tostes, Prof.^o Dr.^o Gustavo Melo, Prof.^o Dr.^o Irving Montanar Franco, Prof.^o PhD. José Júlio Lima, Prof.^a PhD. Ana Cláudia Cardoso, Prof.^a Dr.^a Celma Chaves Pont Vidal e Prof.^a Dr.^a Kláudia Ana Perdigão;

Aos membros da banca por terem aceitado o convite e por suas contribuições a este trabalho;

Aos meus colegas de mestrado pelo companheirismo e por compartilharem comigo esses anos de estudo, de trabalhos, de artigos e de prova;

Em especial gostaria de agradecer a Prof.^a Dr.^a Thaís A. Bastos Caminha Sanjad pelo constante incentivo que me foi dado desde o início do processo seletivo até a entrega da dissertação;

Ao Laboratório de Análise e Desenvolvimento do Espaço Construído (LADEC), pela cooperação com o trabalho e por ceder os equipamentos de medição;

Ao Laboratório de Conservação e Restauração (LACORE) por todas as vezes que me abrigou, que me fez ser participante, que me incentivou com orientações e com equipamentos.

Ao Centro de Excelência em Eficiência Energética da Amazônia (CEAMAZON), em especial ao Laboratório de Conforto Ambiental (LabConf), pela disponibilização do espaço físico para a realização do estudo e pela colaboração com o trabalho;

A CAPES pela bolsa de estudos concedida;

Aos meus pais, meus irmãos, meus sogros e meus cunhados por todo o incentivo que sempre me deram e que compreenderam todos os momentos em que estive ausente em função deste trabalho;

Aos meus irmãos em Cristo, que estiveram orando por mim nos momentos de dificuldades;

E especialmente à minha esposa e companheira Djanira Oliveira que muito me ajudou e incentivou para a realização deste trabalho e a conclusão do mesmo. Definitivamente sem ela nada disso teria acontecido;

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para este trabalho;

Muito Obrigado!!!!

RESUMO

Um dos grandes entraves para o desenvolvimento econômico mundial é a crescente demanda por energia e consequente aumento da utilização de recursos naturais para provê-la. Países em desenvolvimento, como o Brasil, apresentaram progressivo consumo de energia per capita nos últimos anos. Embora a sua maioria seja proveniente de usinas hidrelétricas (fontes não poluidoras) sua construção causa grande impacto ambiental. De todo o percentual energético gerado, as edificações são responsáveis pelo consumo de aproximadamente 40% e este percentual tende a aumentar mediante o crescimento da construção civil no país. Diante da problemática, o combate ao desperdício, a racionalização e o uso sustentável da energia consumida pelas edificações estão diretamente ligados à redução do impacto ao meio ambiente, postergando a necessidade de aumento da matriz energética nacional. Neste contexto é criado o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos (RTQ-C). Este trabalho consiste em uma aplicação crítica do RTQ-C utilizando a metodologia prescritiva, tendo como enfoque aspectos relativos a sua aplicabilidade e avaliação de conforto térmico e lumínico, tendo como premissa que o alto desempenho energético da edificação só é plenamente alcançado quando são garantidas condições satisfatórias de conforto ambiental aos usuários. Para tanto foi necessária uma etapa minuciosa de levantamento de dados e medições “in loco” de temperatura do ar, temperatura radiante, iluminância e umidade relativa em dois ambientes (laboratório de conforto e sala de aula 2) do edifício do Centro de Excelência em Eficiência Energética da Amazônia - CEAMAZON, subsidiando a utilização da metodologia proposta por Fanger (PMV e PPD), e verificação dos níveis de iluminância propostos pela NBR 5413. Como resultado a edificação apresentou bom desempenho, mas a não observância dos pré-requisitos a classificou com nível “C”. A avaliação de conforto indicou que aproximadamente 23% dos usuários não estavam em conforto térmico e que a ventilação natural poderá ser utilizada como estratégia bioclimática para adequação. As medições de iluminância indicaram que apenas a sala de aula 2 possuía potencial de aproveitamento de iluminação natural no período da medição. Concluiu-se que, apesar de sua importância, o RTQ-C deve passar ainda por um processo de adaptação por parte da sociedade e dos profissionais envolvidos na certificação energética de edificações e que durante esse período modificações poderão ser incorporadas contribuindo para torná-lo um instrumento efetivamente válido para a garantia da eficiência energética das edificações do país.

Palavra Chave: Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos (RTQ-C). Eficiência Energética. CEAMAZON. Certificação.

ABSTRACT

One major barrier to economic development is the growing global demand for energy and the consequent increase in the use of natural resources to provide it . Developing countries such as Brazil , showed progressive energy consumption per capita in recent years . Although the majority is from hydroelectric plants (non-polluting sources) its construction causes great environmental impact . Percentage of all energy generated , buildings are responsible for the consumption of approximately 40 % and this percentage is likely to increase by the growth of the construction industry in the country . Regarding the problem , the fight against waste , streamlining and sustainable use of energy consumed by buildings are directly linked to the reduction of environmental impact , delaying the need for increased national energy matrix . In this context is created the Technical Regulation of Quality Level Energy Efficiency Commercial Buildings , and Public Service (RTQ - C) . This work consists of a critical application of the RTQ - C using a prescriptive methodology , with the focus aspects of their applicability and evaluation of thermal comfort and luminal , with the premise that the high energy performance of the building is fully achieved only when conditions are guaranteed satisfactory environmental comfort to users. Therefore it was necessary to step thorough data collection and measurements " in situ " of air temperature , radiant temperature , illuminance and relative humidity in two rooms (laboratory of comfort and classroom 2) building the Center of Excellence in Efficiency energy from Amazon - CEAMAZON subsidizing the use of the methodology proposed by Fanger (PMV and PPD) , and verification of illuminance levels proposed by NBR 5413 . As a result the building showed good performance , but the lack of compliance prerequisites rated with "C" level . A comfort evaluation indicated that approximately 23% of users have had on thermal comfort and the natural ventilation can be used as a strategy to climatic adaptation . Illuminance measurements indicated that only the classroom 2 possessed potential use of natural lighting during the measurement. It was concluded that , despite its importance , the RTQ - C must still pass through a process of adaptation by society and professionals involved in the energy certification of buildings and that during this period changes may be incorporated contributing to make it a effectively valid instrument for ensuring the energy efficiency of buildings in the country

Key Words: Technical Regulation on Quality Level Energy Efficiency of Commercial Buildings, and Public Service (RTQ-C). Energy Efficiency. CEAMAZON. Certification.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- EVOLUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM ALGUNS PAÍSES	17
FIGURA 2 – OFERTA INTERNA DE ENERGIA ELÉTRICA	18
FIGURA 3 - CONSUMO FINAL ENERGÉTICO POR SETOR	20
FIGURA 4 – CARTA BIOCLIMÁTICA PROPOSTA POR OLGYAY	25
FIGURA 5 – CARTA BIOCLIMÁTICA DE GIVONI ADOTADA PARA O BRASIL	26
FIGURA 6 – GRÁFICO DO MÉTODO DE FANGER QUE RELACIONA O PPD E O PMV	27
FIGURA 7 – GRÁFICO DO ÍNDICE PPD EM FUNÇÃO DO PMV	29
FIGURA 8 – TROCAS DE CALOR ATRAVÉS DE UMA SUPERFÍCIE OPACA	35
FIGURA 9 – ESQUEMA EXPLICATIVO DO FENÔMENO DA INÉRCIA TÉRMICA DE UMA PAREDE REAL (Q2) E DE UMA PAREDE FICTÍCIA DE PESO NULO (Q1)	36
FIGURA 10 – EXEMPLO DO CÁLCULO DO WWR	37
FIGURA 11 – REPRESENTAÇÃO DO COEFICIENTE DE SOMBREAMENTO	37
FIGURA 12 – CÁLCULO DO FATOR DE PROJEÇÃO	38
FIGURA 13 – ETIQUETA DE CLASSIFICAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÃO	50
FIGURA 14 - ETIQUETA PARA O PROJETO DO EDIFÍCIO	55
FIGURA 15 - ETIQUETA PARA O EDIFÍCIO CONSTRUÍDO	55
FIGURA 16 – ETIQUETA PARCIAL PARA A ENVOLTÓRIA DE EDIFICAÇÕES	56
FIGURA 17 – ETIQUETA PARCIAL PARA ENVOLTÓRIA E SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	56
FIGURA 18 – ETIQUETA PARCIAL PARA ENVOLTÓRIA E SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR	57
FIGURA 19 - MAPEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO. EM DESTAQUE A CIDADE DE BELÉM	59
FIGURA 20 – QUADRANTES PARA A DEFINIÇÃO DA ORIENTAÇÃO DA FACHADA SEGUNDO O RTQ-C	61
FIGURA 21 - SOBREPOSIÇÃO DA EDIFICAÇÃO SOBRE A ROSA DOS VENTOS PARA DETERMINAR A ORIENTAÇÃO DE FACHADA	61
FIGURA 22 - ÂNGULO HORIZONTAL DE SOMBREAMENTO DE 10°	62
FIGURA 23 - ÂNGULO VERTICAL DE SOMBREAMENTO DE 45°	62
FIGURA 24 - EXEMPLO DE DIVISÃO DOS CIRCUITOS PARA O CONTROLE SETORIZADO	65
FIGURA 25 - EXEMPLO DE ÁREA PRÓXIMA ÀS JANELAS COM CONTROLE INDEPENDENTE	66
FIGURA 26 – PLANTA BAIXA 1º PAVIMENTO – CEAMAZON	72
FIGURA 27 – PLANTA BAIXA 2º PAVIMENTO - CEAMAZON	73
FIGURA 28 – PLANTA BAIXA 3º PAVIMENTO CEAMAZON	74
FIGURA 29 - IMAGEM AÉREA DO LOCAL DA EDIFICAÇÃO	75
FIGURA 30 – LOCALIZAÇÃO DO CEAMAZON (ITEM A)	75
FIGURA 31 – SOBREPOSIÇÃO DO CEAMAZON SOBRE A ROSA DOS VENTOS PARA A ORIENTAÇÃO DAS FACHADAS	76
FIGURA 32 – ÁREA DE ENTORNO DA EDIFICAÇÃO	76
FIGURA 33 – SOBREPOSIÇÃO DA EDIFICAÇÃO NO DIAGRAMA EQUÍDISTANTE DA TRAJETÓRIA E ALTITUDE APARENTE DO SOL PARA A CIDADE DE BELÉM	77
FIGURA 34 – AMBIENTES SELECIONADOS PARA A REALIZAÇÃO DAS MEDIÇÕES	81
FIGURA 35 – LOCALIZAÇÃO DOS INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO NO LABORATÓRIO DE CONFORTO AMBIENTAL	82
FIGURA 36 – POSICIONAMENTO DOS INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO NA SALA DE AULA 2	82
FIGURA 37 – HOB0 DA MARCA ONSET UTILIZADO NAS MEDIÇÕES	82
FIGURA 38 – ANEMÔMETRO DIGITAL DE PALETAS UTILIZADO NO LABORATÓRIO DE CONFORTO AMBIENTAL	82
FIGURA 39 – ANEMÔMETRO DIGITAL DE FIO QUENTE UTILIZADO NA SALA DE AULA 2	83
FIGURA 40 – EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO INSTALADOS NA SALA DE AULA 2	84
FIGURA 41 – EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO INSTALADOS NO LABORATÓRIO DE CONFORTO AMBIENTAL	84
FIGURA 42 – REPRESENTAÇÃO DA PAREDE SIMPLES DA ENVOLTÓRIA DA EDIFICAÇÃO	85
FIGURA 43 – REPRESENTAÇÃO DA PAREDE DUPLA	86
FIGURA 44 – ESQUADRIA DE ALUMÍNIO E VIDRO DE MAIOR QUANTIDADE NA ENVOLTÓRIA DA EDIFICAÇÃO	87
FIGURA 45 – ELEMENTOS DE PROTEÇÃO SOLAR DA FACHADA NORTE	88
FIGURA 46 – DIMENSÕES DA ESQUADRIA DE MADEIRA E VIDRO	88
FIGURA 47 – ESQUADRIA DE MADEIRA E VIDRO COM VENEZIANA	89
FIGURA 48 – DETALHE DA COBERTURA DO BLOCO 1 DO CEAMAZON	90
FIGURA 49 – DETALHES DA TELHA QUE COMPÕE A COBERTURA DA ENVOLTÓRIA	90
FIGURA 50 – LAJE QUE COBRE A OFICINA NO 3º PAVIMENTO	91
FIGURA 51 – CALHA DE CONCRETO FAZENDO O FECHAMENTO DE PARTE DA ENVOLTÓRIA	91
FIGURA 52 – DESENHO ESQUEMÁTICO DA LAJE MACIÇA COM REVESTIMENTO IMPERMEABILIZANTE DE MANTA ASFÁLTICA	92

FIGURA 53 – PORÇÃO DA ENVOLTÓRIA CONSTITUÍDA POR LAJE DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO COM ACABAMENTO EM REVESTIMENTO CERÂMICO	92
FIGURA 54 – PERSPECTIVA ESQUEMÁTICA DA LAJE DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO QUE COBRE PARTE DO LABCONF	92
FIGURA 55 – IMAGEM ILUSTRATIVA DA LUMINÁRIA DE EMBUTIR COM ALETAS UTILIZADA NO CEAMAZON	94
FIGURA 56 - IMAGEM ILUSTRATIVA DA LUMINÁRIA DE SOBREPOR COM ALETAS UTILIZADA NO CEAMAZON	94
FIGURA 57 – IMAGEM ILUSTRATIVA DA LUMINÁRIA DE SOBREPOR COM DIFUSOR EM VIDRO JATEADO	94
FIGURA 58 – CLASSIFICAÇÃO DA EDIFICAÇÃO NA ESCALA DE EFICIÊNCIA DA ENVOLTÓRIA	104
FIGURA 59 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DA ENVOLTÓRIA APÓS AVALIAÇÃO DOS PRÉ-REQUISITOS	105
FIGURA 60 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	107
FIGURA 61 – GRÁFICO DO DESEMPENHO LUMÍNICO NO PONTO DE MEDIÇÃO NO LABORATÓRIO DE CONFORTO AMBIENTAL	111
FIGURA 62 – HISTOGRAMA DOS REGISTROS DE ILUMINÂNCIA NO PONTO MEDIDO NO LABORATÓRIO DE CONFORTO AMBIENTAL	112
FIGURA 63 – GRÁFICO DO DESEMPENHO LUMÍNICO NO PONTO DE MEDIÇÃO NA SALA DE AULA 2	112
FIGURA 64 – HISTOGRAMA DOS REGISTROS DE ILUMINÂNCIA NO PONTO MEDIDO NA SALA DE AULA 2	113
FIGURA 65 – TEMPERATURA DO AR NO LABORATÓRIO DE CONFORTO AMBIENTAL	117
FIGURA 66 – TEMPERATURA DE GLOBO NO LABORATÓRIO DE CONFORTO AMBIENTAL	117
FIGURA 67 – UMIDADE RELATIVA DO AR NO LABORATÓRIO DE CONFORTO AMBIENTAL	117
FIGURA 68 – TEMPERATURA DO AR NA SALA DE AULA 2	118
FIGURA 69 – TEMPERATURA DE GLOBO NA SALA DE AULA 2	118
FIGURA 70 – UMIDADE RELATIVA DO AR NA SALA DE AULA 2	118
FIGURA 71 – PAREDE VOLTADA PARA O LESTE NA SALA DE AULA 2. (A) REGISTRO ATRAVÉS DE CÂMERA DIGITAL CONVENCIONAL; (B) REGISTRO ATRAVÉS DE CÂMERA DIGITAL INFRAVERMELHO	119
FIGURA 72 – TELA DE ENTRADA DOS DADOS DO SOFTWARE ANALYSIS 1.5	121
FIGURA 73 – CARTA BIOCLIMÁTICA PLOTADA NO SOFTWARE ANALYSIS BIO PARA O LABORATÓRIO DE CONFORTO AMBIENTAL	122
FIGURA 74 - CARTA BIOCLIMÁTICA PLOTADA NO SOFTWARE ANALYSIS BIO PARA A SALA DE AULA 2	122
FIGURA 75 – RESISTÊNCIA TÉRMICA SUPERFICIAL EXTERNA E INTERNA	137
FIGURA 76 – SECÇÃO DA LAJE PRÉ-MOLDADA E SUAS RESPECTIVAS CAMADAS	137
FIGURA 77 – SECÇÃO DA LAJE MACIÇA DE CONCRETO	139
FIGURA 78 – FACHADA LESTE COM AS INDICAÇÕES DAS ABERTURAS	140
FIGURA 79 – ÂNGULO VERTICAL DE SOMBREAMENTO JANELA EA1 NA FACHADA LESTE	140
FIGURA 80 – ÂNGULO VERTICAL DE SOMBREAMENTO JANELA EA1-I NA FACHADA LESTE	140
FIGURA 81 – ÂNGULO VERTICAL DE SOMBREAMENTO JANELA EA1-II NA FACHADA LESTE	141
FIGURA 82 – ÂNGULO VERTICAL DE SOMBREAMENTO JANELA EA10 – 3º PAV NA FACHADA LESTE	141
FIGURA 83 – ÂNGULO VERTICAL DE SOMBREAMENTO JANELA EA10 – 2º PAV NA FACHADA LESTE	141
FIGURA 84 – ÂNGULO VERTICAL DE SOMBREAMENTO JANELA EA10 – 1º PAV NA FACHADA LESTE	142
FIGURA 85 – FACHADA NORTE BLOCO 1 COM AS INDICAÇÕES DAS ABERTURAS	142
FIGURA 86 – FACHADA NORTE BLOCO 2 COM AS INDICAÇÕES DAS ABERTURAS	143
FIGURA 87 – ÂNGULO VERTICAL DE SOMBREAMENTO JANELA EA1 NA FACHADA NORTE	143
FIGURA 88 – ÂNGULO VERTICAL DE SOMBREAMENTO JANELA EA1-I NA FACHADA NORTE	143
FIGURA 89 – ÂNGULO VERTICAL DE SOMBREAMENTO JANELA EA1-II NA FACHADA NORTE	144
FIGURA 90 – ÂNGULO VERTICAL DE SOMBREAMENTO JANELA EA1-III NA FACHADA NORTE	144
FIGURA 91 – ÂNGULO VERTICAL DE SOMBREAMENTO JANELA EA4 NA FACHADA NORTE	144
FIGURA 92 – ÂNGULO VERTICAL DE SOMBREAMENTO PORTA EA12 NA FACHADA NORTE	145
FIGURA 93 – FACHADA OESTE COM AS INDICAÇÕES DAS ABERTURAS	145
FIGURA 94 – ÂNGULO VERTICAL DE SOMBREAMENTO DA JANELA EA1 NA FACHADA OESTE	145
FIGURA 95 – FACHADA SUL COM AS INDICAÇÕES DAS ABERTURAS	146
FIGURA 96 – FACHADA SUL DO BLOCO 1 COM AS INDICAÇÕES DAS ABERTURAS	146
FIGURA 97 – ÂNGULO VERTICAL DE SOMBREAMENTO DA PORTA EA2 NA FACHADA SUL	146
FIGURA 98 – ÂNGULO VERTICAL DE SOMBREAMENTO DA JANELA EA4 NA FACHADA SUL	147
FIGURA 99 – ÂNGULO VERTICAL DE SOMBREAMENTO DAS JANELAS EA8 E EA9 NA FACHADA SUL	147
FIGURA 100 – ÂNGULO VERTICAL DE SOMBREAMENTO DA JANELA EA12 NA FACHADA SUL	148
FIGURA 101 – ÂNGULO VERTICAL DE SOMBREAMENTO DA JANELA EM3 NA FACHADA SUL	148
FIGURA 102 – ÂNGULO VERTICAL DE SOMBREAMENTO DA JANELA EM2 NA FACHADA SUL	148
FIGURA 103 – ÂNGULO VERTICAL DE SOMBREAMENTO DA JANELA EM6 NA FACHADA SUL	149
FIGURA 104 – ÂNGULO HORIZONTAL DE SOMBREAMENTO DA JANELA EA1 NA FACHADA LESTE	150
FIGURA 105 – ÂNGULO HORIZONTAL DE SOMBREAMENTO DA JANELA EA10 NA FACHADA LESTE	150
FIGURA 106 – ÂNGULO HORIZONTAL DE SOMBREAMENTO DA JANELA EA10-I NA FACHADA LESTE	150

FIGURA 107 – ÂNGULO HORIZONTAL DE SOMBREAMENTO DA JANELA EA1 E EA1-I NA FACHADA NORTE	151
FIGURA 108 – ÂNGULO HORIZONTAL DE SOMBREAMENTO DA JANELA EA1-I E EA1-II NA FACHADA NORTE.....	151
FIGURA 109 – ÂNGULO HORIZONTAL DE SOMBREAMENTO DA JANELA EA1-I E EA1-III NA FACHADA NORTE.....	151
FIGURA 110 – ÂNGULO HORIZONTAL DE SOMBREAMENTO DA JANELA EA4 NA FACHADA NORTE	152
FIGURA 111 – ÂNGULO HORIZONTAL DE SOMBREAMENTO DA JANELA EA4-I NA FACHADA NORTE	152
FIGURA 112 – ÂNGULO HORIZONTAL DE SOMBREAMENTO DA PORTA EA12 NA FACHADA NORTE	152
FIGURA 113 – ÂNGULO HORIZONTAL DE SOMBREAMENTO DA JANELA EA1-I NA FACHADA OESTE.....	153
FIGURA 114 – ÂNGULO HORIZONTAL DE SOMBREAMENTO DA JANELA EA4 NA FACHADA SUL	153
FIGURA 115 – ÂNGULO HORIZONTAL DE SOMBREAMENTO DA JANELA EA5 NA FACHADA SUL	153
FIGURA 116 – ÂNGULO HORIZONTAL DE SOMBREAMENTO DA JANELA EA8 E EA9 NA FACHADA SUL	154
FIGURA 117 – ÂNGULO HORIZONTAL DE SOMBREAMENTO DA JANELA EM3 NA FACHADA SUL	154
FIGURA 118 – ÂNGULO HORIZONTAL DE SOMBREAMENTO DA JANELA EM3-I NA FACHADA SUL.....	154
FIGURA 119 – ÂNGULO HORIZONTAL DE SOMBREAMENTO DA JANELA EM2 NA FACHADA SUL	154
FIGURA 120 - ÂNGULO HORIZONTAL DE SOMBREAMENTO DA JANELA EM2-I NA FACHADA SUL.....	155
FIGURA 121 – ÂNGULO HORIZONTAL DE SOMBREAMENTO DA JANELA EM2-II NA FACHADA SUL.....	155
FIGURA 122 - ÂNGULO HORIZONTAL DE SOMBREAMENTO DA JANELA EM2-II NA FACHADA SUL.....	155
FIGURA 123 - ÂNGULO HORIZONTAL DE SOMBREAMENTO DA JANELA EM6 NA FACHADA SUL	155
FIGURA 124 - ÂNGULO HORIZONTAL DE SOMBREAMENTO DA JANELA EM6-I NA FACHADA SUL.....	156
FIGURA 125 - ÂNGULO HORIZONTAL DE SOMBREAMENTO DA JANELA EM6-II NA FACHADA SUL.....	156
FIGURA 126 - ÂNGULO HORIZONTAL DE SOMBREAMENTO DA JANELA EM6-III NA FACHADA SUL	156
FIGURA 127 - ÂNGULO HORIZONTAL DE SOMBREAMENTO DA JANELA EM7 NA FACHADA SUL	157
FIGURA 128 - ÂNGULO HORIZONTAL DE SOMBREAMENTO DA JANELA EM7 NA FACHADA SUL	157

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – VARIAÇÃO DA OFERTA INTERNA DE ENERGIA.....	18
TABELA 2 – VARIAÇÃO DO CONSUMO FINAL ENERGÉTICO POR SETOR ENTRE OS ANOS DE 2009 E 2010.....	20
TABELA 3 – ZONAS CLIMÁTICAS DAS CIDADES SEGUNDO A ASHRAE.....	43
TABELA 4 – PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA ASHRAE 90.1.....	44
TABELA 5 - EQUIVALENTES NUMÉRICOS PARA CADA NÍVEL DE EFICIÊNCIA.....	54
TABELA 6 - TABELA DE CLASSIFICAÇÃO GERAL.....	54
TABELA 7 - PARÂMETROS PARA O INDICADOR DE CONSUMO MÁXIMO.....	59
TABELA 8 - PARÂMETROS PARA O INDICADOR DE CONSUMO MÍNIMO.....	59
TABELA 9 - LIMITE DOS INTERVALOS DOS NÍVEIS DE EFICIÊNCIA.....	60
TABELA 10 - RELAÇÃO ENTRE OS PRÉ-REQUISITOS PARA ENVOLTÓRIA E O NÍVEL DE EFICIÊNCIA.....	62
TABELA 11 - LÍMITES DE FATOR SOLAR DE VIDROS E DE PERCENTUAL DE ABERTURA ZENITAL PARA COBERTURAS.....	63
TABELA 12 - RELAÇÃO DE PRÉ-REQUISITOS E NÍVEIS DE EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL.....	65
TABELA 13 – ESPESSURAS MÍNIMAS DE ISOLAMENTO DE TUBULAÇÕES PARA SISTEMA DE AQUECIMENTO.....	67
TABELA 14 – ESPESSURA MÍNIMA DE ISOLAMENTO DE TUBULAÇÕES PARA SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO.....	67
TABELA 15 - EQUIVALENTE NUMÉRICO PARA VENTILAÇÃO NATURAL.....	68
TABELA 16– SÍNTESE DOS SISTEMAS NECESSÁRIOS PARA O MODELO REAL PARA AS ETIQUETAS GERAL E PARCIAIS.....	68
TABELA 17– ESPECIFICIDADES QUE DEVEM SER CONSIDERADAS NA MODELAGEM DO EDIFÍCIO REAL E DE REFERÊNCIA.....	69
TABELA 18– LEGENDA DA SETORIZAÇÃO DO CEAMAZON.....	74
TABELA 19 – PROPRIEDADES TÉRMICAS DAS PAREDES DA ENVOLTÓRIA E TRANSMITÂNCIA FINAL USADA PARA AVALIAÇÃO.....	86
TABELA 20 – ABSORTÂNCIA DAS DIFERENTES PAREDES PONDERADA PELA ÁREA E ABSORTÂNCIA FINAL USADA PARA AVALIAÇÃO.....	87
TABELA 21 – PERCENTUAL DE ABERTURA NA FACHADA TOTAL (PAFT).....	89
TABELA 22 – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DA TELHA DA COBERTURA.....	91
TABELA 23 – TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DOS DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA DA ENVOLTÓRIA E TRANSMITÂNCIA FINAL.....	93
TABELA 24 - ABSORTÂNCIA TÉRMICA DOS DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA DA ENVOLTÓRIA E ABSORTÂNCIA FINAL.....	93
TABELA 25 – LEVANTAMENTO DAS LUMINÁRIAS E DA CARGA INSTALADA NO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL.....	95
TABELA 26 – LEVANTAMENTO DO SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR.....	96
TABELA 27 – ÁREA DA ENVOLTÓRIA DAS ELEVAÇÕES E ÁREA TOTAL DA ENVOLTÓRIA.....	97
TABELA 28 – VOLUME TOTAL DA EDIFICAÇÃO.....	97
TABELA 29 – AVS DA FACHADA LESTE.....	99
TABELA 30 - AVS DA FACHADA NORTE.....	100
TABELA 31 – AVS DA FACHADA OESTE.....	100
TABELA 32 – AVS DA FACHADA SUL.....	100
TABELA 33 – ÂNGULO VERTICAL DE SOMBREAMENTO TOTAL.....	101
TABELA 34 – AHS DA FACHADA LESTE.....	101
TABELA 35 – AHS DA FACHADA NORTE.....	102
TABELA 36 – AHS DA FACHADA OESTE.....	102
TABELA 37 – AHS DA FACHADA SUL.....	102
TABELA 38 – ÂNGULO HORIZONTAL DE SOMBREAMENTO TOTAL.....	103
TABELA 39 - PARÂMETROS PARA O CÁLCULO DE IC.....	103
TABELA 40 – LÍMITES DOS INTERVALOS.....	104
TABELA 41 – TABELA DE ÁREAS E POTÊNCIA TOTAL INSTALADA POR ATIVIDADE.....	106
TABELA 42 – DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR E PONDERAÇÃO $W_{TOTAL} \times E_{QNUM_{AC}}$	108
TABELA 43 – PERCENTUAL DE REGISTROS ACIMA DE 300 LUX NO PERÍODO DE 8:00 ÀS 18:00 NA SALA DE AULA 2.....	114
TABELA 44 – VALORES DE METABOLISMO PARA VÁRIAS ATIVIDADES.....	115
TABELA 45 – ÍNDICE DE RESISTÊNCIA TÉRMICA PARA VESTIMENTAS.....	116
TABELA 46 – TEMPERATURA DO AR, DE GLOBO E UMIDADE RELATIVA DO LABORATÓRIO DE CONFORTO E DA SALA DE AULA 2.....	116
TABELA 47 – VARIÁVEIS ENVOLVIDAS NA EQUAÇÃO DE CONFORTO.....	121

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
A_{env} – Área de Envoltória
AHS – Ângulo Horizontal de sombreamento
AVS – Ângulo Vertical de sombreamento
A_{pe} – Área de Projeção do Edifício
ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
BCA - Building Code of Australia
BEN – Balanço Energético Nacional
CEAMAZON – Centro de Excelência em Eficiência Energética da Amazônia
CGIEE - Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética
CIB - Conselho Internacional para Pesquisas e Inovações nos Edifícios e na Construção
CTE - Condiciones Térmicas em los Edifícios
CIT - Convergência Intertropical
COP – Coeficiente de Operação
DPI – Densidade de Potência Instalada
DPIL – Densidade de Potência Instalada Limite
ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EqNumV – Equivalente Numérico de Ventilação Natural
FF – Fator de Forma
FP – Fator de Proteção
FS – Fator Solar
GT-MME - Grupo Técnico para a Eficientização de Energia em Edificações
IC_{env} – Indicador de Consumo da Envoltória
IC_{maxD} – Indicador de consumo máximo
IC_{min} – Indicador de consume mínimo
INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IEA - International Energy Agency
IECC - International Energy Conservation Code
K – Índice do Ambiente
MEC - Mode Energy Code
NFRC - National Fenestration Rating Council
NRC - National Research Council
OCDE - Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
P3E - Programa Nacional para a Eficiência Energética nos Edifícios
PAF_T – Percentual de Aberturas na Fachada Total
PAZ – Percentual de abertura zenital
PMV – Predicted Mean Vote (Voto médio predito)
PPD – Predicted Percentage of Dissatisfied (Percentual de pessoas insatisfeitas)
PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia
PT – Pontuação Geral
RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RCR - Room Cavity Ratio
RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
RTQ-C – Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos
SC – Coeficiente de Sombreamento
U_{par} – Transmitância Térmica das Paredes
U_{cob} – Transmitância da cobertura
V_{total} – Volume Total
WWR – Window Wall Ratio
ZB – Zona Bioclimática

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1. PANORAMA MUNDIAL E BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES	16
2.2. BIOCLIMATOLOGIA	22
2.2.1. Arquitetura Bioclimática	22
2.2.2. Zoneamento Bioclimático Brasileiro	29
2.2.3. Características climáticas de Belém	31
2.3. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES	33
2.3.1. Parâmetros de Avaliação de Eficiência Energética em Edificações	34
2.4. NORMATIZAÇÕES EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	38
2.4.1. Estados Unidos	39
2.4.1.1. Modal Energy Code – MEC.....	40
2.4.1.2. ASHRAE 90.1 E 90.2.....	42
2.4.1.3. Title 24 – Califórnia	44
2.4.2. Canadá.....	45
2.4.3. México.....	46
2.4.4. União Europeia.....	47
2.4.5. Espanha	48
2.4.6. Portugal	48
2.4.7. Austrália	50
2.4.8. Hong Kong.....	51
2.4.9. Brasil.....	51
2.5. REQUISITOS TÉCNICOS DA QUALIDADE DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS COMERCIAIS, DE SERVIÇO E PÚBLICOS – RTQ-C ...	53
2.5.1. Metodologia Prescritiva	53
2.5.1.1. Envoltória	57
2.5.1.2. Sistema de Iluminação Artificial.....	64
2.5.1.3. Sistema de Condicionamento de Ar.....	66
2.5.2. Metodologia da Simulação	67
2.5.3. Bonificações	71
3. MATERIAIS E MÉTODOS	72
3.1. EDIFICAÇÃO ANALISADA.....	72

3.2. AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA CONFORME O RTQ-C.....	77
3.2.1. Avaliação da Envoltória	77
3.2.2. Avaliação do Sistema de Iluminação Artificial	78
3.2.3. Avaliação do Sistema de Condicionamento de Ar	79
3.3. COLETA DE DADOS PARA AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO E LUMÍNICO DE DOIS AMBIENTES	79
4. APRESENTAÇÃO E DISCUÇÃO DOS RESULTADOS	85
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO.....	85
4.1.1. Envoltória	85
4.1.2. Aberturas	87
4.1.3. Cobertura	89
4.1.4. Sistema de Iluminação Artificial	93
4.1.5. Sistema de Condicionamento de Ar	96
4.2. APLICAÇÃO DO RTQ-C – MÉTODO PRESCRITIVO	97
4.2.1. Envoltória	97
4.2.1.1. Fator de Altura (FA):.....	97
4.2.1.2. Fator de Forma (FF):.....	97
4.2.1.3. Percentual de área de abertura na fachada total (PAF _T):.....	98
4.2.1.4. Fator Solar (FS):.....	98
4.2.1.5. Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS):.....	99
4.2.1.6. Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS):.....	101
4.2.1.7. Cálculo do Indicador de Consumo da Envoltória (IC _{env}):.....	103
4.2.1.8. Cálculo dos Indicadores de Consumo Máximo e Mínimo (IC _{max} e IC _{min}):.....	103
4.2.1.9. Determinação do Nível de Eficiência da Envoltória:.....	104
4.2.2. Sistema de Iluminação Artificial	105
4.2.3. Sistema de Condicionamento de Ar	107
4.2.4. Classificação Geral	109
4.2.4.1. Bonificações:	109
4.2.4.2. Pontuação Total (PT):	109
4.2.4.3. Pré-requisitos Gerais:	110
4.3. COLETA DE DADOS PARA AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO E LUMÍNICO DE DOIS AMBIENTES	110
4.3.1. Desempenho Lumínico	110
4.3.2. Desempenho Térmico	114

4.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS	123
4.4.1. Classificação através do RTQ-C	123
4.4.2. Análise Crítica do Regulamento	124
5. CONCLUSÕES	129
5.1. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	132
REFERÊNCIAS.....	133
APÊNDICE A – Cálculo da Transmitância Térmica da Cobertura.....	137
APÊNDICE B – Ângulos verticais de sombreamento	140
APÊNDICE C – Ângulos horizontais de sombreamento.....	150
ANEXO 1 – PLANILHA DE FORNECIMENTO DE DADOS GERAIS DA EDIFICAÇÃO	158
ANEXO 2 – PLANILHA DE FORNECIMENTO DE DADOS DA ENVOLTÓRIA ...	159
ANEXO 3 – PLANILHA DE FORNECIMENTO DE DADOS DAS ABERTURAS....	160
ANEXO 4 – PLANILHA DE FORNECIMENTO DE DADOS DE ILUMINAÇÃO....	161
ANEXO 5 – PLANILHA DE FORNECIMENTO DE DADOS DE ILUMINAÇÃO....	162

1. INTRODUÇÃO

O aumento do consumo energético é um dos indicadores de desenvolvimento econômico e de melhoria da qualidade de vida, mas traz consigo aspectos negativos, como a possibilidade do esgotamento dos recursos utilizados para a produção da energia, impactos ambientais produzidos por essa atividade e elevados investimentos para aumento da matriz energética.

Uma das alternativas possíveis para gerar resultados eficientes e permanentes para conter a expansão do consumo sem comprometer a qualidade de vida e o desenvolvimento econômico seria estimular o uso eficiente. Conservar qualquer recurso ou forma de energia implica na transformação da sociedade do desperdício numa sociedade mais racional no uso de seus recursos naturais, em especial, insumos energéticos. A conservação de energia maximiza os benefícios dos investimentos já efetuados no sistema elétrico, contribui para minorar os impactos ambientais e reduz custos para o país e para o consumidor. O custo de qualquer ação de combate ao desperdício é bem menor do que o gasto para a construção de uma nova usina geradora de energia. Combater o desperdício de energia elétrica não significa ter seu uso limitado, mas sim usufruir de todo o conforto e vantagens proporcionadas por ela, diminuindo os custos de operação sem abrir mão da qualidade dos serviços e equipamentos.

As primeiras iniciativas referentes às ações de conservação de energia passaram a ser discutidas no início da década de 70, impulsionadas pela crise do petróleo. Desde então a temática vem sendo discutida por países desenvolvidos e em desenvolvimento, desencadeando um plano de ação global visando o equilíbrio entre as necessidades econômicas, sociais e os recursos naturais. A redução do consumo passou a significar mais disponibilidade de recursos energéticos que poderiam ser reinvestidos para o seu próprio crescimento. Nos últimos anos as edificações foram efetivamente incorporadas a este tema, sobretudo por serem responsáveis por grande parte do consumo da energia produzida mundialmente. Os sistemas de iluminação artificial e de condicionamento de ar consomem uma parcela considerável da energia elétrica das edificações do setor residencial, público, de serviço e comercial. A tipologia da edificação e os materiais utilizados influenciam na relação de ganho ou perda de carga térmica do ambiente, exigindo aumento do consumo de energia elétrica através dos equipamentos de condicionamento ar (aquecimento ou refrigeração). A participação das edificações na demanda por energia elétrica no país é bastante expressiva e com a estabilidade da economia a tendência de crescimento verificada e estimada é ainda maior, aliada a uma política de melhor distribuição de renda, o que permite o acesso de uma

porção cada vez maior da população aos confortos proporcionados pelas novas tecnologias. O Balanço Energético Nacional indica que 48% do consumo elétrico no Brasil é proveniente de edifícios e que grande parte dessas edificações utiliza uma considerável parcela dessa energia para obtenção de conforto ambiental através seus sistemas de condicionamento de ar e iluminação artificial devido a não incorporação de estratégias de arquitetura bioclimática, de materiais e novas tecnologias, ou até mesmo de princípios tradicionais da arquitetura vernacular. Segundo Lamberts (2007), para os setores comercial e público brasileiros, a distribuição por uso final é de 47% para o sistema de condicionamento de ar, 22% os sistemas de iluminação artificial e 31% para as demais cargas.

Os indicadores de consumo por uso final contribuíram para o compromisso da conservação e uso racional de energia elétrica, passando a ser uma preocupação constante, impulsionando o processo de criação de uma regulamentação própria nesta área, especificamente direcionada às edificações. Com isso, a avaliação de desempenho energético de edificações e a sua certificação apresentaram-se como uma importante estratégia de sustentabilidade no âmbito das construções.

No Brasil, no entanto, essas transformações aconteceram em um período relativamente tardio em relação a outros países, os quais ao longo dos anos passaram pelo processo de implantação de normas de eficiência energética de edificações, readequação da indústria da construção civil a novos procedimentos e adaptação dos profissionais envolvidos no processo. Após a crise de abastecimento energético de 2001, ações no sentido de estabelecer o uso racional e eficiente de energia passaram a ser implantadas, destacando-se a criação da Lei 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e uso Racional de Energia, seguida da publicação do Decreto 4.059 de 19 de dezembro de 2001, que determina “que os níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, (...)” serão estabelecidos com base em indicadores técnicos e regulamentação específica.

Neste contexto, o Programa Nacional de Conservação de Energia estabelece um subprograma voltado exclusivamente para edificações, o PROCEL Edifica, com a proposta de implementar a eficiência energética na cultura construtiva nacional, englobando a educação, certificação de materiais, elaboração de projetos, revisão de leis de eficiência energética para constante atualização tecnológica, e principalmente, o desenvolvimento de regulamentação para etiquetagem de edifícios. A partir do ano de 2009 o Requisito Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos (RTQ-C) foi

oficialmente publicado, inicialmente de forma voluntária, mas com a familiarização dos procedimentos avaliativos tende se tornar obrigatório. De acordo com Leduc (2008), o potencial de economia de energia a partir de normas e códigos que visam a eficiência energética é estimado em um percentual de 12% para um período compreendido entre 2000 e 2020, o que resultará em redução de consumo energético para usuários de imóveis. Com isso, a expectativa é que a classificação do desempenho energético de edificações através da etiquetagem se torne um diferencial no mercado imobiliário, destacando os benefícios relacionados à redução do consumo de energia.

Neste contexto se insere o edifício do Centro de Excelência em Eficiência Energética da Amazônia (CEAMAZON), objeto deste estudo para a aplicação analítica do RTQ-C, por ser uma edificação pública que reúne dois aspectos fundamentais: a primeira é que a sua construção foi motivada pela necessidade de se fomentar o conhecimento na área de eficiência energética nas suas diferentes esferas, a segunda é que se trata de um edifício público, e como tal, desempenha um importante papel na apropriação e divulgação das medidas de uso racional de energia, na medida em que atingem um público diversificado e amplo.

Este trabalho tem por objetivo geral a aplicação do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos (RTQ-C) para classificação do nível de desempenho energético do Centro de Excelência em Eficiência Energética da Amazônia (CEAMAZON) através do método prescritivo. Os objetivos específicos são: avaliar de forma crítica os aspectos físicos e climáticos envolvidos na metodologia proposta pelo regulamento, bem como aspectos relativos à aplicabilidade do método e obtenção de informações para subsidiá-lo; confrontar o resultado da classificação com medições “in loco” para a obtenção de registros de temperatura do ar, umidade relativa do ar, temperatura radiante média e iluminância de dois ambientes; avaliar o conforto térmico dos usuários dos ambientes analisados através do método *Predicted Mean Vote* (PMV) e *Predicted Percentage of Dissatisfied* (PPD) proposto por Fanger e incorporado à norma ISO 7730; avaliar o desempenho lumínico no ponto de medição em cada um dos dois ambientes e contabilizar o percentual de registros que atingiram o nível de iluminância recomendado pela NBR 5413¹ (ABNT, 1992).

¹ Norma de iluminância de interiores.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. PANORAMA MUNDIAL E BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES

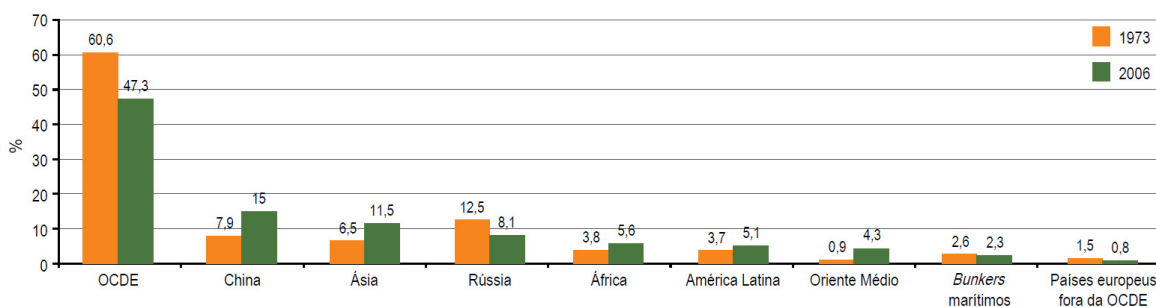
Uma das principais questões a serem enfrentadas pelos países desenvolvidos e em desenvolvimento é o consumo de energia. Os 30 países que compõem a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE)² são, historicamente, os maiores consumidores mundiais de energia. A organização é formada basicamente por países desenvolvidos que ao longo do século XX tiveram expressivo crescimento do seu consumo energético, mas nos últimos anos, sua participação no total mundial tem recuado. Já nos países em desenvolvimento, ainda que possuam em alguns casos, uma participação pouco expressiva no cenário mundial, o aumento do consumo tem sido superior a 100% nas últimas três décadas (BRASIL, 2008). A disparidade de consumo entre esses dois grupos pode ser explicada pela estrutura social e econômica de cada um deles. Países desenvolvidos são caracterizados por uma economia relativamente estável, em que não há espaços para os aumentos acentuados na produção industrial ou no consumo de bens que elevem rapidamente os níveis de consumo, como automóveis, eletrodomésticos e eletrônicos. Em sociedades mais estruturadas e ricas, a maior parte da população já adquiriu esses bens ao longo da segunda metade do século XX, a produção industrial tende a utilizar com maior frequência equipamentos energeticamente eficientes, requerendo um menor volume de energia para se manter em operação, além disso, acabam deixando para países em desenvolvimento atividades da indústria energointensiva que consome muita energia, como a produção de alumínio por exemplo. Portanto as variações do consumo são muitas vezes suaves ou até mesmo decrescentes.

Os países em desenvolvimento, no entanto, estão mais suscetíveis a reversões de tendências na economia, seja ela por dependência econômica do capital estrangeiro ou por política econômica interna restritiva. A partir dos anos 90, um elevado volume de investimentos externos gerou uma sucessão de ciclos de expansão econômica, o qual refletiu claramente na América Latina e na Ásia, com destaque para países como a China e a Rússia, favorecidos pela liberação gradual dos regimes comunistas. Além disso, os países em desenvolvimento costumam apresentar variações do consumo de energia bem mais

² Os Países da OCDE relacionados pela *International Energy Agency* (IEA) são: Austrália, Áustria, Bélgica, Canadá, República Tcheca, Dinamarca, Finlândia, França, Alemanha, Grécia, Hungria, Islândia, Irlanda, Itália, Japão, Coreia, Luxemburgo, México, Países Baixos, Nova Zelândia, Noruega, Polônia, Portugal, República Eslovaca, Espanha, Suécia, Suíça, Turquia, Reino Unido e Estados Unidos.

acentuadas que o crescimento do PIB³ em função de fatores como a existência de grande número de indústrias energointensivas, demanda reprimida por eletrodomésticos, eletroeletrônicos, automóveis e existência de uma forte economia informal. Segundo estatísticas da *International Energy Agency* (IEA), a China é o exemplo de maior expressividade em termos de crescimento do consumo de energia, onde em 1973 respondia por 7,9% dos 4.672 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep) da energia primária absorvida por todos os países pesquisados. Em 2006, essa participação quase que dobrou, chegando a corresponder a 15% do consumo, conforme mostra o gráfico da figura 1.

Figura 1- Evolução do consumo de energia elétrica em alguns países



Fonte: BRASIL, 2008, p.43

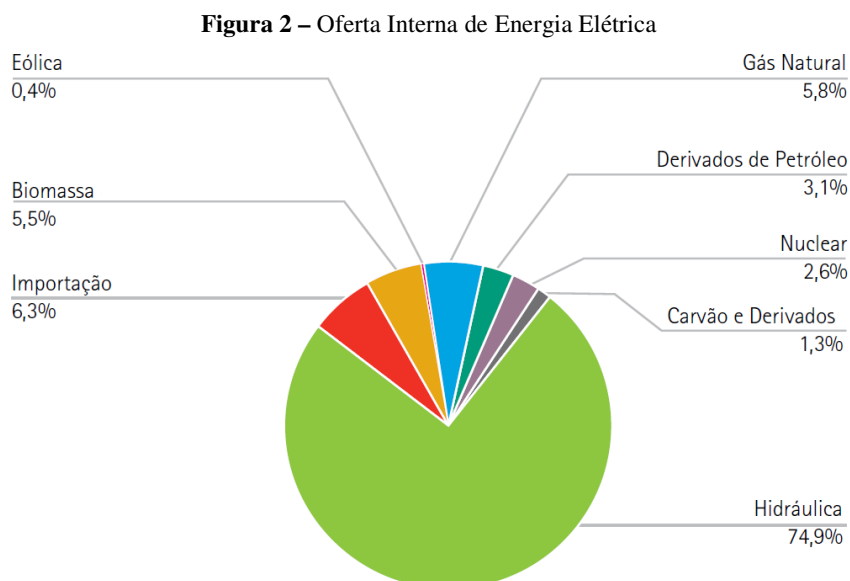
Embora a China seja o exemplo mais expressivo, outros países e regiões em desenvolvimento registraram comportamento semelhante ao longo dos últimos anos, como por exemplo, o Equador, mas devido serem economias menores absorvem um menor volume de energia, conseqüentemente exercendo menor pressão na oferta global.

Quanto à modalidade de energéticos consumidos, este está diretamente relacionado com a facilidade de acesso aos recursos primários de cada localidade. Na China e na Índia, o energético mais consumido foi o carvão mineral, em contrapartida na Rússia, o gás natural teve maior consumo. De maneira geral, o crescente consumo energético dos países em desenvolvimento ainda baseiam-se em fontes não renováveis ou com aspectos negativos ao meio ambiente (BRASIL, 2008).

O Brasil, que se inclui no grupo de países em desenvolvimento, vem apresentando visível crescimento de consumo energético na última década, mesmo tendo seu consumo per capita abaixo dos 2000 kWh/hab (LAMBERTS, 2007). A maior parte da energia produzida no país baseia-se em fontes renováveis representadas pelas usinas hidrelétricas, cujo potencial é estimado em 260 GW, com uma capacidade instalada de 97 GW, o que representa 15% da Matriz Energética Nacional (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2007 apud CARLO,

³ Produto Interno Bruto

2008). De acordo com dados atuais do Ministério de Minas e Energia através do Balanço Energético Nacional 2011, mais da metade da oferta interna de energia elétrica (figura 2) continua baseada na energia hidráulica produzida pelas usinas hidrelétricas, a qual teve um aumento de 5,9% entre os anos de 2009 e 2010. A maior variação observada foi na oferta do gás natural, onde a variação mais do que dobrou em um ano, passando de 13,3 TWh para 31,9TWh, como mostra a Tabela 1.



Fonte: Balanço Energético Nacional (BEN) – 2011 (Resultados Preliminares – Ano Base 2010)

Tabela 1 – Variação da Oferta Interna de Energia

Fontes	2010	2009	Unidade: TWh
			Δ %
Total	548,8	502,9	9,1%
Energia Não Renovável	70,8	47,8	48,2%
Gás Natural	31,9	13,3	139,4%
Derivados de Petróleo	17,1	14,7	17,0%
Nuclear	14,5	13,0	12,1%
Carvão e Derivados	7,2	6,8	5,2%
Energia Renovável	478,0	455,2	5,0%
Hidráulica	411,1	388,2	5,9%
Importação	34,6	40,0	-13,3%
Biomassa	30,1	25,5	18,1%
Eólica	2,18	1,45	50,5%

Fonte: Balanço Energético Nacional (BEN) – 2011 (Resultados Preliminares – Ano Base 2010).

Atualmente, a maior parte do potencial hidrelétrico economicamente viável já foi utilizada, somando-se ainda as dificuldades em se conseguir financiamento para obras de grandes hidrelétricas e os impactos ambientais causados pela implantação das usinas. Dificuldades como essas fazem muitas vezes com que o país volte sua atenção para o uso de fontes não-renováveis, como a termo-elétrica e a termonuclear, consumindo outros tipos de recursos ambientais que se acredita serem mais nocivos que as hidrelétricas. Estes impactos

no consumo de recursos para geração de energia devem ser avaliados frente aos potenciais e às limitações que cada fonte apresenta, adotando-se estratégias que envolvam o conceito de sustentabilidade para reduzir o impacto ambiental, sem comprometer a geração de energia necessária para o desenvolvimento.

Optar por fontes limpas e alternativas representa uma forma de reduzir a necessidade de construção de novas usinas convencionais e ao mesmo tempo evitar um grande impacto ao meio ambiente. Esse tipo de energia, combinada com as fontes renováveis como a energia solar e eólica, contribui para a preservação do meio ambiente do planeta e para o desenvolvimento sustentável, o qual visa reduzir a pressão sobre os recursos não renováveis e sobre o meio ambiente. Nas edificações sustentáveis, a racionalização e o uso eficiente da energia contribuem para um uso consciente, evitando o desperdício sem comprometer os serviços necessários à saúde, segurança, conforto e produtividade do usuário da edificação.

Diante disso, a racionalização do uso de energia e o combate ao desperdício implicam diretamente na redução de impacto ao meio ambiente, postergando a necessidade de construção de novas usinas, limitando o risco de interrupção do fornecimento de energia ou água e ampliando a vida útil de fontes de energia não-renováveis. Podem também reduzir a demanda de energia e o montante investido na ampliação das redes de fornecimento. Mas os benefícios econômicos e a qualidade de vida conseqüentes da eficiência energética nem sempre são contabilizados, assim como não costumam ser calculados os custos com saúde e segurança pública (CARLO, 2008).

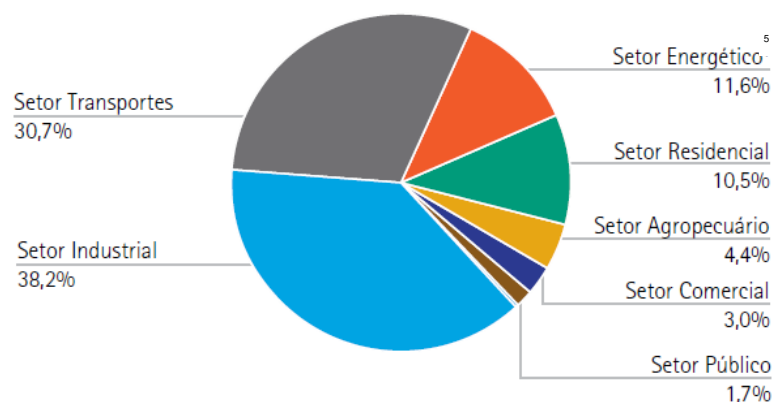
O crescente consumo energético no Brasil possui significativa correlação com o nível de atividade econômica, a qual por sua vez demanda mais energia para seu desenvolvimento. Esse processo conseguiu atender a demanda até o ano de 2001, ano em que o sistema de abastecimento energético nacional entrou em crise. De lá pra cá o país tem aumentado ações que visam o uso racional e eficiente da energia, haja vista que a demanda energética ainda é crescente, conforme mostra a relação de consumo final energético por setor elaborado pelo Ministério de Minas e Energia através do último Balanço Energético Nacional (BEN) – Resultados Preliminares (BRASIL, 2010a) (Tabela 2), o qual indica um crescimento de 1,9% no setor residencial, de 7,3% no setor Comercial e de 2,6% no setor público, todos em relação ao ano de 2009.

Tabela 2 – Variação do Consumo Final Energético por Setor entre os anos de 2009 e 2010

Setor	Unidade: 10 ³ tep ⁴		Δ 10/09
	2010	2009	
Setor Industrial	86.333	76.413	13,0%
Setor Transporte	69.451	62.687	10,8%
Setor Energético ⁵	26.136	24.415	7,0%
Setor Residencial	23.673	23.227	1,9%
Setor Agropecuário	9.911	9.453	4,8%
Setor Comercial	6.777	6.314	7,3%
Setor Público	3.814	3.717	2,6%
Total	226.094	206.225	9,6%

Fonte: Balanço Energético Nacional (BEN) – 2011 (Resultados Preliminares – Ano Base 2010).

Neste levantamento, os setores residencial, comercial e público representam 15,2% do consumo de energia elétrica nacional no ano de 2010, onde 10,5% pertencem ao setor residencial, 3,0% ao setor comercial e 1,7% ao setor público, conforme mostra a figura 3.

Figura 3 - Consumo Final energético por setor

Fonte: BRASIL, 2010a

De acordo com o relatório de avaliação de mercado de eficiência energética elaborado pela Eletrobrás (LAMBERTS, 2007), a distribuição do uso final de energia elétrica em edifícios comerciais e públicos organiza-se da seguinte forma: 47% referentes ao uso do sistema de condicionamento de ar, 22% relativos à iluminação artificial e 31% referentes às demais cargas (elevadores, bombas, equipamentos, etc.). No setor residencial a distribuição por uso final organiza-se da seguinte forma: 12% destinam-se ao sistema de iluminação artificial, 7% referem-se aos aparelhos de ar condicionado, 23% aos chuveiros elétricos, 36% para geladeiras e eletrodomésticos e 22% são referentes às demais cargas.

Estes indicadores de consumo referentes ao uso final da energia passaram a demonstrar os potenciais de conservação e a contribuir para o uso racional de energia elétrica, impulsionando o processo de criação de uma regulamentação própria nesta área, direcionada a

⁴ Toneladas Equivalentes de Petróleo.

⁵ Setor Energético agrega os centros de transformação e/ou processos de extração e transporte interno de produtos energéticos, na sua forma final

edificações. Sendo assim, a avaliação e certificação de edifícios entram como uma importante estratégia de sustentabilidade no âmbito das construções. Essas medidas regulatórias, que podem ser executadas através de leis, normas e códigos para edificações eficientes visam a explorar o potencial de conservação através de ações voltadas à prática profissional e de campanhas educativas para conscientizar profissionais da construção civil e o usuário da edificação.

Até 2001 não havia lei ou norma de eficiência energética em edificações no Brasil. Após a crise de 2001 foi criada a Lei nº 10.295 que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia que foi regulamentada pelo Decreto nº 4.059 de 19 de dezembro de 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 de edificações construídas”. Apontou também a necessidade de “indicadores técnicos e regulamentação específica” para estabelecer a obrigatoriedade dos níveis de eficiência no país. Espera-se que com essa obrigatoriedade e a implementação de regulamentos técnicos de eficiência energética, o país possa reduzir o seu nível de consumo e elevar seus padrões de uso para patamares de uso sustentáveis.

Segundo Duffie (apud CARLO, 2008) o uso de normas e códigos de eficiência energética em todos os setores consumidores, incluindo transporte e agroindústria, poderia acarretar economias de cerca de 1310 TWh entre os anos de 2000 a 2020, ou seja, com um potencial de economia estimado em 12%. É óbvio que sobre esta estimativa ainda incidiriam fatores subjetivos, tais como aspectos culturais e hábitos de uso dos consumidores, mas o potencial de economia é evidente.

Diversos países já adotam normas, regulamentações e programas de eficiência energética para edificações. Conhecer as experiências da prática legal e técnica, bem como o processo de implementação de suas políticas de eficiência energética se torna bastante enriquecedor. Contudo, os parâmetros e limites de eficiência definidos para outros países foram baseados em realidades distintas às brasileiras. Em países desenvolvidos como os Estados Unidos, as normas de eficiência já estão sendo maturadas há pelo menos três décadas, diversas revisões já foram feitas, a sociedade e a indústria construtiva (materiais e tecnologias) já puderam se adaptar aos padrões de eficiência exigidos. No decorrer deste trabalho serão apresentadas normas de eficiência energética de alguns países mostrando os pontos principais do processo de avaliação do nível de eficiência de edificações.

2.2. BIOCLIMATOLOGIA

2.2.1. Arquitetura Bioclimática

A bioclimatologia é o ramo da ciência responsável pelo estudo das relações entre o clima e os seres vivos (BOGO et al, 1994), porém, dependendo da área de investigação as definições a respeito do clima passam a ser diversas. Gomes (1994 apud ROMERO, 2000), ressalta a importância de se atentar para dois conceitos fundamentais sobre o estudo do clima, são eles:

- Fatores Climáticos: São parâmetros fixos que dão origem ou determinam as variações dos elementos climáticos;
- Elementos Climáticos: Também denominados de elementos meteorológicos, que são os parâmetros mensuráveis, cujas variações definem o clima.

Sendo assim, os fatores climáticos seriam então a radiação solar, circulação atmosférica, repartição das terras e dos mares, relevo do solo, correntes marítimas e revestimento do solo. Os elementos do clima seriam as temperaturas do ar, regime dos ventos, umidade do ar, nebulosidade e precipitações atmosféricas. As combinações entre a climatologia relacionada com o homem e sua produção arquitetônica gerou o que se conhece por arquitetura bioclimática, que nada mais é do que a preocupação em utilizar corretamente os elementos arquitetônicos com o intuito de fornecer ao ambiente construído um alto grau de conforto higrotérmico⁶, com baixo consumo energético (BOGO et al, 1994). A arquitetura bioclimática trata a envoltória da construção como uma “membrana reguladora” entre os ambientes interno e externo, com o objetivo de proporcionar um ambiente interno confortável (CORBELLA, 2011).

É a arquitetura que se abre para dar entrada e absorver a energia solar em regiões ou épocas de temperaturas baixas; é a arquitetura que exclui a entrada do sol em épocas ou regiões de temperaturas altas; que atrasa a entrada do calor para as horas mais frias; é aquela que se abriga da radiação solar através da sua cobertura, ocupa a área de sombra delimitada por ela e se abre completamente para a ventilação, dissipar o ar aquecido e a umidade excessiva; enfim, é a arquitetura que tira partido das condições oferecidas pelo ambiente natural para atender às necessidades básicas do seu usuário, o homem na construção de seu abrigo (CLÍMACO e AMORIM, 2008, p 01 apud BRUM, 2010).

⁶ Sensação experimentada pelo organismo quando em condições ambientais de temperatura e umidade tais que, considerando fatores próprios como idade, vestimenta e atividade, não precisa fazer uso de seus sistemas termorreguladores para manter sua temperatura na faixa dos 36,5°C. Assim, o conforto higrotérmico é obtido sempre que consegue manter, através das trocas higrotérmicas, um equilíbrio entre o seu corpo e o entorno. (Fonte: http://www.fau.ufrj.br/apostilas/conforto/AMB2_20071_dia_20_03.pdf. Acessado em: 24/11/2012).

Segundo Romero (2000, p. 25) a arquitetura bioclimática, como estudo sistematizado das relações entre o clima e a arquitetura, é uma área relativamente nova e pouco desenvolvida, mas que tem, na arquitetura vernácula, os antecedentes que servem como exemplos de respostas adequadas do homem às exigências do meio ambiente. No transcorrer da história a concepção arquitetônica sempre esteve relacionada com as peculiaridades climáticas e culturais de um dado local, até mesmo em suas manifestações mais primitivas, quando a busca por proteção e conforto era externada através da construção de abrigos com soluções próprias de cada local, que exigissem baixo recurso energético e que promovessem o conforto térmico de seus habitantes. Como exemplo, Brum (2010, p. 22) cita o iglu feito pelos esquimós da região do Alasca, que possuem como característica o isolamento contra a baixa temperatura do ambiente externo, a necessidade de proteção contra os ventos, aberturas apenas para acesso e renovação do ar, localizadas sempre na direção oposta da incidência dos ventos, e com forma esférica e semi-enterrada para garantir uma pequena superfície de exposição. Para povos habitantes de climas quentes a arquitetura vernácula é caracterizada por serem unidades residenciais isoladas e distanciadas de modo a não obstruir os ventos, algumas são elevadas do solo para permitir a ventilação sob o piso e proteger da umidade, como é o caso da moradia de alguns povos indígenas da região amazônica.

A partir do desenvolvimento tecnológico proporcionado pela revolução industrial, novos materiais passaram a ser incorporados às edificações, tais como o aço e o concreto armado, dando maior dinâmica ao processo construtivo. A partir daí, iniciou-se um processo de desvalorização gradual da preocupação em adaptar as edificações ao clima, onde a aplicação inadequada dos materiais repercutiram no comprometimento do conforto térmico no interior das edificações (LAMBERTS, DUTRA, & PEREIRA, 1997). No Brasil, em particular, a partir da primeira metade do século XX, as construções foram fortemente influenciadas pela arquitetura internacional, perdendo sua harmonização com o clima tropical e passando a depender ainda mais da energia elétrica para o ar-condicionado e para a iluminação artificial. Corbella (2011, p. 19) afirma ainda que a dependência de soluções e tecnologias importadas, bem como o descomprometimento com a redução do consumo energético ou com impactos ambientais, levaram a difundir a ideia errônea que qualquer projeto de arquitetura poderia ser desenvolvido sem considerar as peculiaridades climáticas locais. Resultando, então, em espaços com qualidade de conforto interno muitas vezes pior do que as condições externas, e que só podem ser habitados com a intensiva utilização de

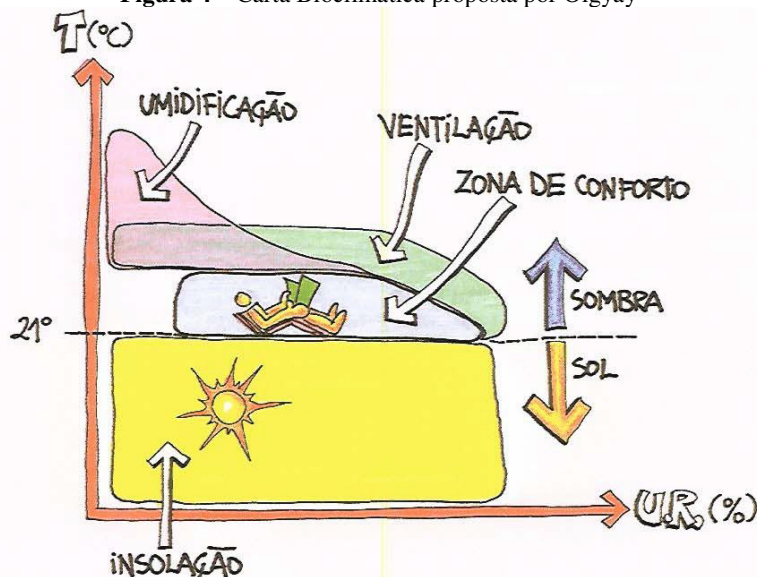
sistemas artificiais de climatização. Trata-se de uma arquitetura da forma, desprovida de conteúdos, e que ignora o conforto do usuário.

Concomitantemente a este contexto, estudos associados à arquitetura bioclimática iniciam ainda na década de quarenta através da publicação de J. M. FITCH denominada “*American Buildings: the enviromental forces that shape it*”, que lançou as bases para estudos posteriores do arquiteto húngaro Victor Olgyay, na década de sessenta, resultando na publicação “*Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism*”, na qual se criou a expressão de “PROJETO BIOCLIMÁTICO” associado aos estudos das condições de conforto térmico humano. Neste estudo Olgyay foi pioneiro em reunir um texto de fácil compreensão e desenvolver racionalmente um método que levasse em consideração as variáveis do lugar, por meio de uma abordagem regional dos elementos do clima, e definir as condições de conforto térmico para a localização de assentamentos, conjuntos habitacionais e casas, propondo um esquema para o processo de construir uma casa adequada ao clima, numa concepção quatripartida (clima, biologia, tecnologia e arquitetura), estabelecendo a seguinte lógica de análises:

- Análise dos dados climáticos da região;
- Avaliação biológica fundamentada nas sensações humanas;
- Soluções tecnológicas para filtrar os impactos adversos;
- Aplicação arquitetônica dos conhecimentos adquiridos nas etapas anteriores.

Olgyay elabora e publica um gráfico bioclimático (figura 4) onde propõe estratégias de adaptação da edificação ao clima, a partir de dados do clima externo. O gráfico possui a zona de conforto indicada no centro e os elementos climáticos indicados com curva ao redor, que fornecem as medidas necessárias de correção para restabelecer a sensação de conforto em qualquer ponto fora da área de conforto indicada no gráfico. Um dos pontos chaves do estudo de Olgyay é a determinação da zona de conforto, a qual o próprio autor mostra que se trata de um processo complexo que deve ser acordado conforme a região geográfica, já que as regiões mais quentes elevam os limites das zonas de conforto térmico devido à aclimação. Os limites podem ainda variar de acordo com o metabolismo dos indivíduos, os tipos de vestimentas, a natureza da atividade que se executa e fatores como sexo e idade.

Figura 4 – Carta Bioclimática proposta por Olgay



Fonte: LAMBERTS, DUTRA, & PEREIRA, 1997, p. 104

Posteriormente, arquiteto Baruch Givoni, em sua publicação “*Man, Climate and Architecture*”, na década de setenta, analisou dois aspectos, em primeiro lugar, os elementos de intercâmbio de calor entre o homem e seu ambiente térmico de acordo com as respostas fisiológicas e sensoriais à pressão térmica e aos efeitos biofísicos dos fatores ambientais. Em segundo lugar, o autor analisa a relação entre a superfície externa dos edifícios e os efeitos das variáveis climáticas, a partir das características termofísicas dos edifícios, como por exemplo, a condutibilidade térmica⁷, a condutância⁸ e o coeficiente de superfície.

Segundo Romero (2000, p. 17) a pesquisa de Givoni, ganhou destaque pela maneira de ilustrar a aplicação de princípios de desenho e a seleção de materiais para adequar o edifício ao clima, onde o autor separa as características climáticas que exercem influência no conforto fisiológico das respostas térmicas dos edifícios ou no conjunto de edifícios. Ele ainda analisa por meio de cálculos diversos, os efeitos térmicos das coberturas, a umidade nos edifícios, o impacto da radiação solar sobre eles, a orientação e seus efeitos nas condições do clima interno. O resultado gráfico das relações de causa e efeito dos elementos climáticos com os limites da zona de conforto do homem gerou a “*Building Bioclimatic Chart*”, ou, Carta

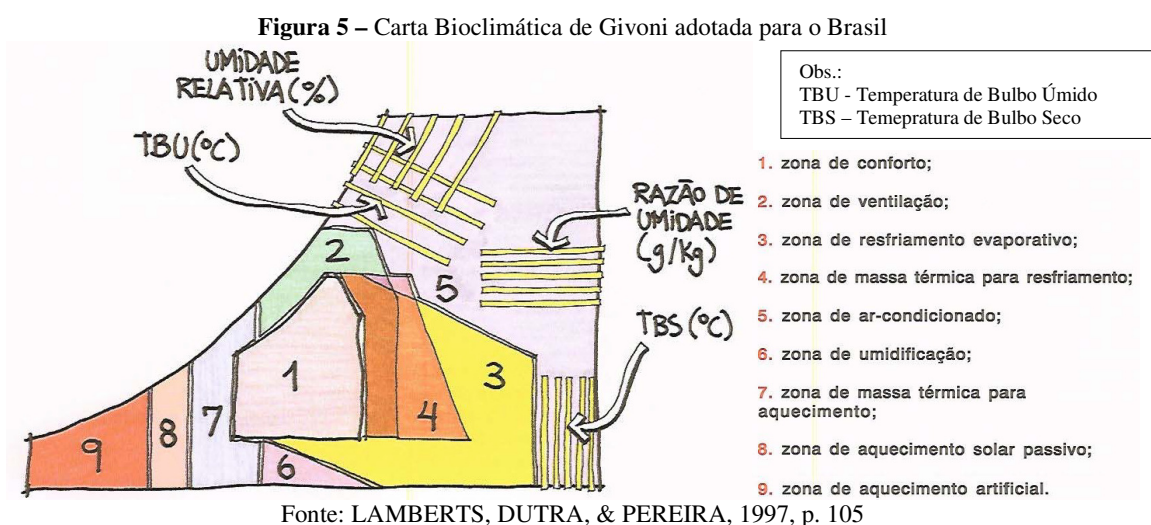
⁷ O coeficiente de condutibilidade térmica (λ) é definido como sendo o fluxo de calor que passa, na unidade de tempo, através de uma unidade de área de uma parede com espessura unitária e dimensões suficientemente grandes para que fique eliminada a influência de contorno, quando se estabelece, entre os parâmetros dessa parede, uma diferença de temperatura unitária (FROTA & SCHIFFER, 2001, p. 35).

⁸ A condutância térmica engloba as trocas térmicas que se dão à superfície da parede. O coeficiente de condutância térmica superficial expressa as trocas de calor por convecção e por radiação (FROTA & SCHIFFER, 2001, p. 37).

Bioclimática para Edifícios (figura 5), que serviu também para corrigir as limitações do diagrama bioclimático idealizado por Olgay.

Embora o trabalho tenha sido inovador, Givoni reconhece a impossibilidade de atuação diferenciada para cada combinação de elementos que fazem a imensa variedade de climas distribuídos sobre a Terra. Portanto, ele propõe a aplicação de princípios de nível macro a certos tipos de clima: quente-seco (deserto), quente-úmido (equatorial e tropical marítimo) e mediterrâneo (subtropical).

Em outro trabalho (1992), Givoni explica que o clima interno em um edifício não condicionado reage mais largamente a variação do clima externo e à experiência de uso dos habitantes. Usuários de edifícios naturalmente condicionados geralmente aceitam como situação normal uma maior variação de temperatura e velocidade do ar, configurando assim sua aclimatação. Como resultado, Givoni concebeu uma carta bioclimática adequada a países em desenvolvimento, na qual os limites máximos de conforto da sua carta anterior foram expandidos. Outros trabalhos realizaram uma revisão bibliográfica abordando a bioclimatologia aplicada à arquitetura a fim de identificar qual metodologia bioclimática seria mais coerente com as características climáticas do Brasil. Avaliaram-se as metodologias de vários autores, entre eles Watson e Labs, Olgay, Givoni e Szokolay, e como resultado, verificou-se que o trabalho de Givoni de 1992 para países em desenvolvimento representa a metodologia mais adequada às condições brasileiras (LAMBERTS, DUTRA, & PEREIRA, 1997).

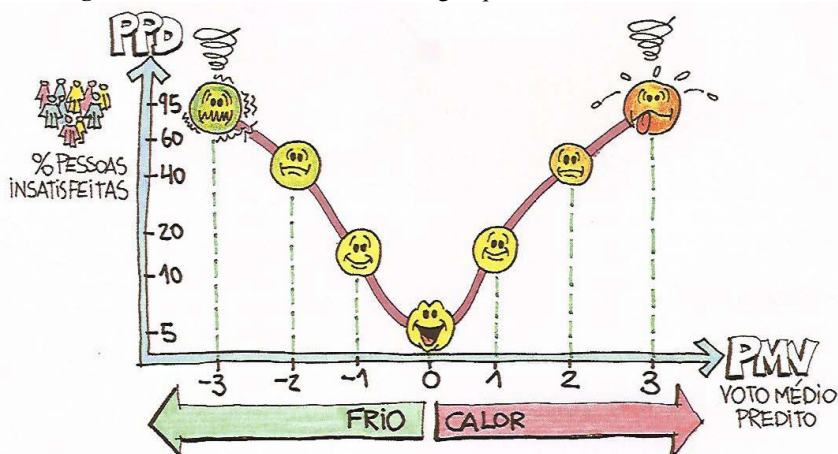


Neste mesmo contexto, Fanger (apud ROMERO, 2000) concentra seu estudo na determinação das zonas de conforto do homem dentro das edificações. A sua publicação “*Thermal Confort*” fornece subsídios importantes para avaliação do conforto térmico uma vez

que avalia como os elementos do clima e suas variáveis individuais afetam a percepção do estado de conforto dos indivíduos. O destaque de seu trabalho está no estudo das zonas de conforto para vários tipos de atividade e diferentes vestimentas, a fim de determinar analiticamente as condições de conforto a partir do sistema termoregulador do homem, que lhe permite promover o equilíbrio térmico no seu corpo.

Fanger realizou um trabalho experimental avaliando pessoas de diferentes nacionalidades, faixa etária e sexo, as quais eram expostas, de forma controlada, a diversas combinações das variáveis ambientais e pessoais de conforto. As variáveis eram mantidas constantes por 3 horas e a cada 30 minutos cada pessoa (num total de 1300) expressava através do voto escrito a sua sensação térmica na escala definida na figura 6. Dessa forma Fanger elaborou uma equação (Equação 1) que permitia obter a sensação térmica para qualquer combinação das variáveis ambientais e pessoais de conforto. A análise estatística das informações obtidas nas experiências possibilitou a obtenção do Voto Médio Predito (PMV – *Predicted Mean Vote*) para determinadas condições ambientais. O PMV consiste em um valor numérico que traduz a sensibilidade humana ao frio e ao calor, sendo o zero o valor correspondente ao conforto térmico, os valores negativos para o frio e os positivos para o calor.

Figura 6 – Gráfico do método de Fanger que relaciona o PPD e o PMV



Fonte: LAMBERTS, DUTRA, & PEREIRA, 1997, p. 43

(Equação 1)

$$PMV = [0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028] \cdot \left\{ \begin{array}{l} (M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5\,733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] \\ -1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5\,867 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) \\ -3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \end{array} \right\}$$

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028 \cdot (M - W) - I_{cl} \cdot \left\{ 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \right\}$$

$$h_c = 2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} \text{ quando } \rightarrow 2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} > 12,1\sqrt{v_{ar}}$$

$$h_c = 12,1\sqrt{v_{ar}} \text{ quando } \rightarrow 2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} < 12,1\sqrt{v_{ar}}$$

$$f_{cl} = 1,00 + 1,290I_{cl} \text{ quando } \rightarrow I_{cl} \leq 0,078m^2 \cdot ^\circ C / W$$

$$f_{cl} = 1,00 + 0,645I_{cl} \text{ quando } \rightarrow I_{cl} > 0,078m^2 \cdot ^\circ C / W$$

Onde:

PMV = Voto Médio Predito;

M = Energia do Metabolismo⁹ (W/m²);

W = Trabalho externo, sendo igual a zero para a maioria das atividades (W/m²);

I_{cl} = Isolamento térmico da Vestimenta¹⁰ (m²·°C/W)

f_{cl} = Fator de área da vestimenta;

t_a = Temperatura do ar;

t_{rm} = Temperatura radiante média (°C);

P_a = Pressão parcial de vapor (Pa);

h_c = Coeficiente de transferência de calor por convecção (W/m²·°C);

t_{cl} = Temperatura superficial da vestimenta (°C).

Outro conceito implementado a partir do PMV foi a Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas (PPD – *Predicted Percentage of Dissatisfied*), correspondendo ao percentual de pessoas em estado de desconforto térmico, ou seja, quando expostas a uma determinada combinação de variáveis pessoais e ambientais. Na prática é impossível obter num ambiente uma combinação das variáveis de conforto que satisfaça plenamente todos os integrantes. A metodologia proposta por Fanger e adotada pela ISO 7730 calcula a porcentagem de insatisfeitos através de uma equação (Equação 2) ou pode ser estimada através da Figura 7, que mostra a porcentagem de insatisfeitos para cada valor de PMV. Em ambientes destinados a ocupação humana classificados como termicamente moderados, o PPD deve ser menor que 10%, o que corresponde a uma faixa do PMV que varia de -0,5 a +0,5.

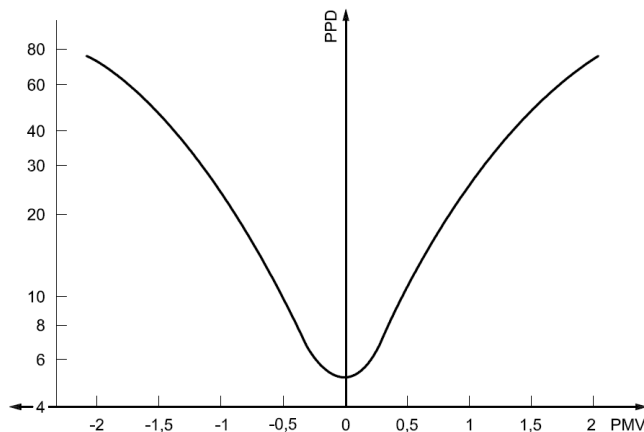
⁹ 1 unidade metabólica = 1 met = 58,15 W/m²

¹⁰ 1 unidade de isolamento térmico da vestimenta = 1 clo = 0,155m²·°C/W

(Equação 2)

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-(0,03353xPMV^4 + 0,2179xPMV^2)}$$

Figura 7 – Gráfico do índice PPD em função do PMV



Fonte: ISO 7730, p. 5

Os pesquisadores citados são coincidentes em atribuir às peculiaridades climáticas de uma região um papel central frente a concepção formal da arquitetura, pois a correspondência harmônica entre as variáveis envolvidas no projeto (sejam elas variáveis climáticas, arquitetônicas, geográficas ou culturais) será responsável por determinar uma arquitetura adequada ao clima e consequentemente energeticamente eficiente.

2.2.2. Zoneamento Bioclimático Brasileiro

O zoneamento bioclimático brasileiro é parte integrante da norma técnica de desempenho térmico de edificações NBR 15220 a qual é composta por cinco partes:

- NBR 15220-1: Definições, símbolos e unidades;
- NBR 15220-2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;
- NBR 15220-3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
- NBR 15220-4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;
- NBR 15220-5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

Na terceira parte está contido o zoneamento bioclimático, que tem por finalidade propor diretrizes construtivas para melhor adequação das edificações ao clima,

consequentemente melhorando seu desempenho termo-energético. Para estabelecer as zonas bioclimáticas Roriz, Guisi e Lamberts (1999) apresentaram a metodologia para definir a base de dados climáticos no Brasil.

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

A carta bioclimática de Givoni (1992) foi adaptada para a classificação do clima de cada célula do território brasileiro, agrupando as células de mesmo tipo para que fossem avaliadas suas peculiaridades climáticas e recomendações construtivas específicas para cada zona pudessem ser feitas, visando proporcionar condições mínimas de conforto térmico aos usuários.

A cidade de Belém, onde está inserido o objeto de estudo deste trabalho, pertence à zona bioclimática 8. Para esta zona, as recomendações construtivas apresentadas na NBR 15220-3 (ABNT, 2003^c) são: grandes aberturas para ventilação com sombreamento permanente; paredes leves; coberturas leves e refletoras; durante o verão adotar a ventilação cruzada permanente como estratégia de condicionamento térmico passivo.

Apesar do importante papel da NBR 15220-3 na melhoria do desempenho térmico das habitações populares e após sete anos de sua publicação, Roriz (2012) faz as seguintes considerações:

- O referido zoneamento foi baseado apenas em normais climatológicas de pouco mais de 300 municípios, sendo os demais estipulados por interpolação. O procedimento gerou um mapa com um elevado nível de incerteza;
- O zoneamento foi proposto especificamente para habitações unifamiliares de interesse social, mas tem sido aplicado indiscriminadamente por outras tipologias devido ser o único disponível nas normas técnicas brasileiras, inclusive é a referência adotada para a NBR 15575 (Desempenho Térmico de Edificações até 5 pavimentos (ABNT, 2008) e para os regulamentos de eficiência energética (RTQ-C e RTQ-R);
- Os critérios adotados para estabelecer os limites geográficos de cada zona foram baseados na carta bioclimática de Givoni e nas planilhas de Mahoney. Este procedimento resultou em zonas com baixa homogeneidade climática e em um número total de zonas insuficiente para refletir a diversidade climática do Brasil;

- Devido à imprecisão na caracterização climática de cidades brasileiras, desde que a NBR 15220 entrou em vigência, o zoneamento foi alvo de críticas apresentadas em artigos em eventos científicos.

Sendo assim, atualmente há um amplo consenso por parte dos pesquisadores brasileiros que atuam na área, sobre a necessidade de revisão do zoneamento.

2.2.3. Características climáticas de Belém

De acordo com Koppen (apud CABRAL, 1995), Belém está classificada na categoria climática “equatorial úmido”, cujas principais características são: as altas temperaturas (sempre acima dos 18°C); baixa velocidade dos ventos intercaladas com frequentes momentos de calmaria; elevados índices de umidade relativa do ar e abundantes precipitações com totais oscilando entre 1500 e 3000 mm anuais (CABRAL, 1995. pg. 47).

Em decorrência de sua localização geográfica de baixa altitude, os raios solares incidem quase que verticalmente durante o ano todo, resultando em elevada carga térmica com temperaturas médias anuais de 25,9 °C, e valores normais anuais máximos de 31,4°C mínimos de 22,4°C. Não há variações térmicas sensíveis que determinem um período quente e um frio, visto que a amplitude entre as temperaturas médias do mês mais quente (26,5°C - novembro) e do mês mais frio (25,4°C – março) é de apenas 1,1°C. As precipitações distribuem-se de forma diferenciada no decorrer do ano, sendo os meses de dezembro a maio os mais chuvosos e os meses de junho a novembro os menos chuvosos.

Outro aspecto importante na determinação das condições climáticas locais é a velocidade e direção dos ventos. De acordo com dados do Serviço de Meteorologia do Ministério da Agricultura (normais de 1931/1960) as maiores frequências anuais dos ventos em Belém são nordeste (29%), norte (10%) e leste (9%). A frequência nas demais direções é insignificante, a velocidade média entre 2,6 e 2,9 m/s e a calmaria de 45% nos 12 meses (CABRAL, 1995, pg. 47). Estudos mais recentes com base em dados do Serviço Regional de Proteção ao Vôo – Belém/PA (SRPV-Be), do Ministério da Aeronáutica, sobre a direção dos ventos e períodos de calmaria, indicam de 1963/1981, frequência distribuída de norte a sudeste, primeira predominância leste e segunda predominância sudeste e nordeste. A calmaria é de 40,4% em média no período. Na observação dos meses de maio e outubro, meses esses em que se realizaram os levantamentos, constatou-se que a calmaria foi respectivamente 46,8% e 34,4%, e que para os ventos, embora mantivessem primeira

predominância leste, a segunda predominância mudou de sudeste (maio) para nordeste (outubro).

A posição geográfica de Belém em relação aos mecanismos dos sistemas atmosféricos que agem na região é bastante peculiar. Estudos feitos por Mollion, sobre as circulações de mesoescala na região revelaram que linhas de instabilidade, com até 4 mil quilômetros de extensão, formam-se na costa, em Belém, e propagam-se a uma velocidade de 50 a 60 quilômetros por hora, varrendo toda a Amazônia em cerca de dois dias até atingirem a Cordilheira dos Andes. Tais linhas, ao causarem ventos fortes de 70 a 100 quilômetros por hora e intensas precipitações de curta duração, certamente criam condições favoráveis ao arrefecimento da parte continental da Amazônia, inclusive Belém. Os referidos estudos reconhecem por outro lado a importância das brisas marítimas, resultantes do contraste térmico existente entre o continente e o oceano, para a formação do clima das regiões litorâneas, onde se localiza Belém.

Situada sobre a linha do equador, entre o mar e o continente florestado, Belém tem seu clima mais diretamente influenciado pela Convergência Intertropical (CIT) a qual segundo o seu descolamento provoca dois momentos climáticos mais característicos da região, o “inverno” como é chamado o período mais chuvoso (durante dezembro a maio) e o “verão” o período menos chuvoso (junho a novembro).

Considerando o conforto térmico para a vida humana, os dois períodos oferecem condições bastante diversificadas. O período de dezembro a maio, além de chuvas abundantes, apresenta maior nebulosidade, menor insolação, menor ventilação e menor evaporação e conseqüentemente maior umidade relativa do ar. Contrariamente, o período de junho a novembro, apresenta menor pluviosidade, menor nebulosidade, maior insolação, maior ventilação e maior evaporação resultando menor umidade relativa do ar.

De acordo com o estudo de Cabral (1995), embora as temperaturas sejam constantemente altas, apresentando pequena amplitude térmica, o período de menor umidade relativa do ar e melhor ventilação (junho a novembro), é o mais confortável do ponto de vista térmico.

O conhecimento das características climáticas onde o edifício está inserido é de extrema relevância, pois representa requisitos básicos para projetos de condicionamento de ar, cálculos simplificados do consumo de energia e para simulações mais detalhadas de energia em edificações. Embora sejam informações importantes para projetos energeticamente

eficientes os dados meteorológicos, quando disponíveis, não são direcionados para soluções projetuais de edificações, fazendo com que profissionais da área os ignorem. Segundo Goulart (1998), a cultura construtiva contemporânea nos países em desenvolvimento tem se apropriado da climatologia mais em função da aviação e da agricultura do que para integrar diferentes elementos climatológicos em todos os níveis de projeto. Porém, esses elementos exigem um tratamento estatístico específico prévio, capaz de transformar uma grande quantidade de registros em ferramentas práticas de trabalho.

2.3. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

De acordo com LAMBERTS (1997), a eficiência energética em edificações pode ser compreendida como a obtenção de um dado serviço com baixo dispêndio de energia. Uma determinada edificação é mais energeticamente eficiente do que outra quando proporciona as mesmas condições ambientais e de uso com menor consumo de energia. O conceito de arquitetura relacionado com espaço habitável vem sendo sustentado por três pontos de apoio desde o período clássico, onde Vitruvius¹¹ os classificava como “solidez”, “utilidade” e “beleza”. Atualmente com o avanço tecnológico cada vez mais incorporado na produção arquitetônica contemporânea pode-se acrescentar mais uma base de apoio para o conceito de arquitetura: o da “eficiência energética” (LAMBERTS, 1997).

O conceito de eficiência energética é utilizado nos projetos de edificações com o intuito de racionalizar o consumo evitando desperdícios sem comprometer os serviços essenciais à segurança, conforto, saúde e a produtividade do usuário da edificação (CARLO, 2008).

As edificações contribuem muito para o consumo, pois demandam energia para atender os sistemas de iluminação artificial e equipamentos elétricos (eletrodomésticos, elevadores, motores, geradores, etc.), que somados com a ocupação e com as trocas térmicas entre o ambiente interno e externo produzem carga térmica, que deve ser compensada pelo sistema de condicionamento de ar (refrigeração) em climas quentes, demandando ainda mais energia para atingir temperaturas dentro da zona de conforto. Em edificações localizadas em regiões de clima frio, a demanda de energia fica por conta do sistema de condicionamento de

¹¹ Arquiteto e engenheiro romano que viveu no século I a.C. e deixou como legado a obra “*De Architectura*” (10 volumes, aprox. 27 a 16 a.C), único tratado europeu do período greco-romano que chegou aos nossos dias e serviu de fonte de inspiração a diversos textos sobre hidráulica, engenharia, arquitetura e urbanismo, desde o Renascimento. Os seus padrões de proporções e os seus princípios conceituais – “*utilitas*” (utilidade), “*venustas*” (beleza) e “*firmitas*” (solidez) – inauguraram a base da arquitetura clássica.

ar (calefação) para manter aquecido o ambiente interno, fazendo necessário um eficiente projeto para a envoltória a fim de favorecer o ganho e armazenamento do calor.

A obtenção de uma edificação energeticamente eficiente é feita através de um conjunto de ações, sobretudo ainda na fase de projeto, que intervenham principalmente na envoltória, principal responsável pela oferta de iluminação natural e pelas trocas térmicas entre os ambientes interno e externo. Os projetos de reformas (*retrofits*) dos sistemas de condicionamento de ar e de iluminação artificial e as alterações no padrão de uso da edificação também podem gerar uma significativa redução do consumo energético.

2.3.1. Parâmetros de Avaliação de Eficiência Energética em Edificações

No processo de avaliação de desempenho energético de edificações é necessário primeiramente a compreensão dos parâmetros envolvidos no consumo desta, que podem ser classificados em:

- a) Climáticos;
- b) Arquitetônicos;
- c) Construtivos;
- d) Ocupacionais;
- e) Operacionais.

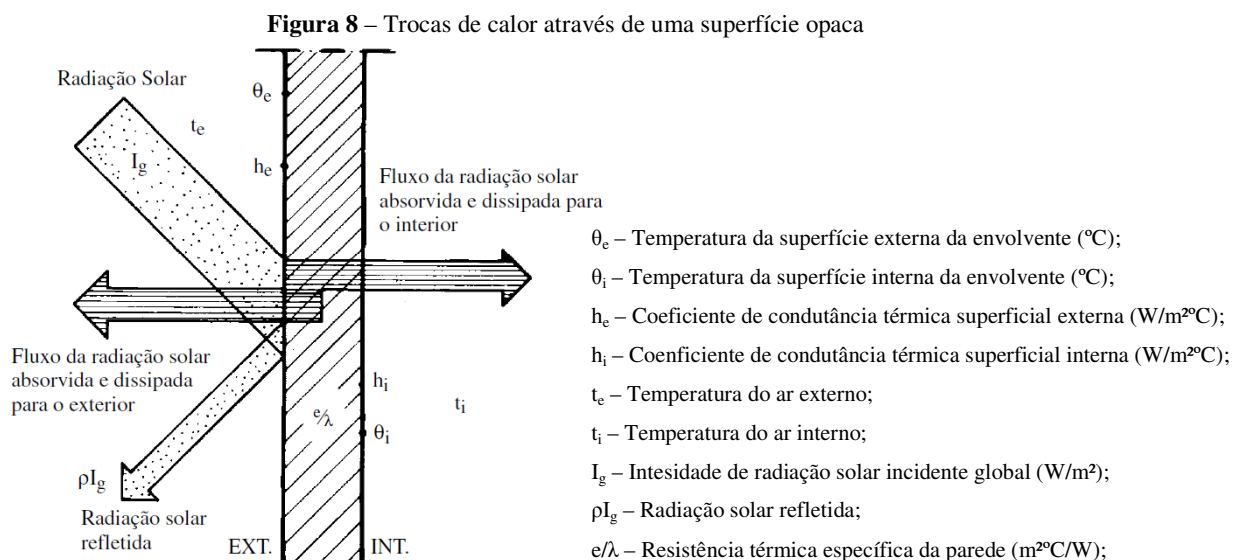
Todos esses parâmetros irão influenciar direta ou indiretamente na demanda energética da edificação, repercutindo no consumo dos sistemas de iluminação e condicionamento de ar.

As características climáticas irão fornecer informações a respeito da radiação solar, temperatura do ar, umidade, pressão atmosférica, velocidade e direção dos ventos, nebulosidade, pluviosidade, etc. O Brasil, devido sua grande extensão territorial é dividido em vários climas (equatorial, tropical, semi-árido, subtropical, tropical litorâneo e tropical de altitude)¹² com características específicas que deverão ser levadas em consideração para uma melhor adequação do envelope do edifício ao clima da região onde ele está inserido. Atualmente com as transformações climáticas do planeta e com a longa vida útil das edificações é importante que os projetistas estejam a par dos relatórios científicos sobre o comportamento climático de determinada região, podendo assim criar edifícios que não só atendam as necessidades atuais, mas que possam ser adaptados às mais significativas mudanças climáticas (KEELER & BURKE, 2010).

¹² Fonte: www.geografiaparatodos.com.br (Acesso em: 26/07/2012).

Os parâmetros arquitetônicos e construtivos possuem relação direta com o desempenho energético da edificação. As características da envoltória que podem aumentar ou minimizar os ganhos calor são as cores das superfícies da envoltória, as propriedades térmicas dos materiais e componentes e a exposição ao ambiente externo com a ausência de elementos de sombreamento ou o contato de grandes superfícies do edifício com o exterior. Os fechamentos arquitetônicos estão basicamente divididos em superfícies opacas (paredes e cobertura) e transparentes (janelas, portas, painéis de vidro, vãos, etc.), que diferem entre si pela capacidade de transmissão da radiação solar para o interior da edificação, transmissão essa denominada de transmitância térmica, dada em função da intensidade da radiação solar incidente e das propriedades térmicas dos materiais (U_{parede} e $U_{\text{cobertura}}$), expressa em $\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ ou $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$, ou seja, quanto de energia em forma de calor (W) pode ser transmitida por um elemento de 1m^2 para uma determinada diferença de temperatura ($^\circ\text{C}$ ou K).

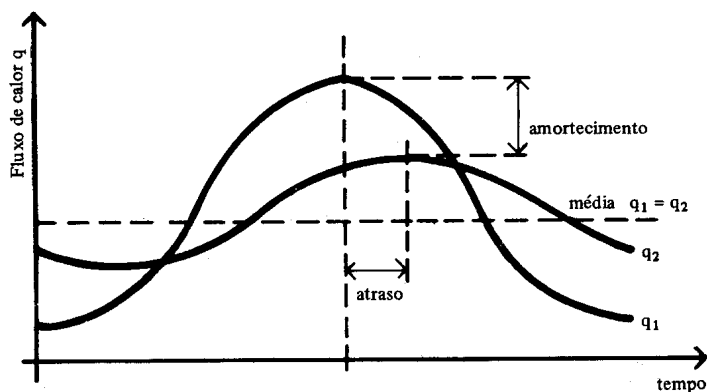
Neste processo de transferência de calor, parte da radiação incidente na superfície da edificação é absorvida e outra parte refletida. A parte absorvida irá transformar-se em calor, e uma parcela da refletida funcionará como um auxiliar na iluminação dos ambientes. Logo, fachadas com cores escuras, com alto coeficiente de absorção (α alto), absorverão a radiação solar e a transmitirão como calor ao interior do prédio. Superfícies claras, com baixo coeficiente de absorção (α baixo), refletirão, inclusive a luz natural ou artificial, auxiliando na obtenção de ambientes mais iluminados com um menor consumo de energia, conforme ilustrado na Figura 8 (SIGNOR, 1999).



Fonte: FROTA & SCHIFFER, 2001, p. 42

Outra característica muito importante da envoltória, relacionada com a massa, com o calor específico e com a capacidade térmica da superfície é a propriedade denominada de Inércia Térmica. Esta propriedade se refere ao amortecimento e ao atraso da onda de calor (Figura 9), devido ao aquecimento ou resfriamento dos materiais (FROTA & SCHIFFER, 2001). Logo, quando a temperatura exterior, supostamente inicial à temperatura interior, se eleva, um certo fluxo de calor penetra na superfície da parede. Contudo, devido a elevada inércia térmica do material este fluxo não atravessa imediatamente a parede, antes aquecendo-a internamente. A temperatura de um material com baixa inércia térmica muda significativamente durante o dia, enquanto a temperatura de um material com inércia térmica alta não muda tão drasticamente. O conhecimento desta propriedade auxilia na especificação de materiais que irão contribuir para manutenção do conforto térmico no interior da edificação.

Figura 9 – Esquema explicativo do fenômeno da inércia térmica de uma parede real (q_2) e de uma parede fictícia de peso nulo (q_1)



Fonte: FROTA & SCHIFFER, 2001, p. 49

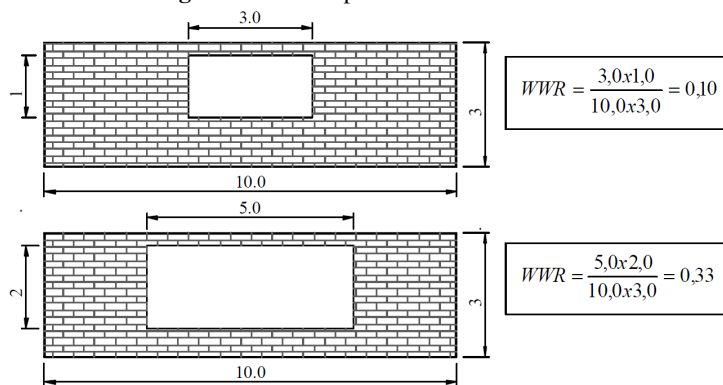
No processo de avaliação de desempenho energético de edificações as características da envoltória analisadas são geralmente as mesmas, com pouca variação dependendo da tipologia. A partir das pesquisas de SIGNOR (2001), que avaliou o consumo de energia de edificações comerciais em 14 cidades brasileiras, a fim de criar um mecanismo simplificado de análise, verificou-se que a maior parte das variáveis utilizadas no processo avaliativo estão relacionadas com a envoltória, sendo elas:

- a) Razão entre a área de cobertura pela área total (A_{cob}/A_{total});
- b) Razão da área da fachada pela área total ($A_{fachada}/A_{total}$);
- c) Percentual de janela na fachada, ou percentual total de abertura da fachada ou *Window Wall Ratio* (PJF, PAF_T, WWR);

- d) Fator de projeção de brises horizontais ou estruturas horizontais de sombreamento (FP);
- e) Coeficiente de sombreamento dos vidros ou Fator Solar (CS ou FS);
- f) Transmitância térmica da cobertura (U_{cob});
- g) Absortância do telhado à radiação solar (α_{cob});
- h) Densidade de carga interna: iluminação, equipamentos e ocupação (ILD)

As superfícies transparentes da envoltória, embora contribuam para iluminação natural, para a ventilação natural, para o conforto visual e para a estética, são as principais responsáveis por transmitir uma parcela significativa de radiação solar para o interior da edificação. Daí a importância de se conhecer o percentual de abertura da fachada (WWR) (Figura 10), bem como a orientação dessas aberturas em relação à incidência da radiação solar.

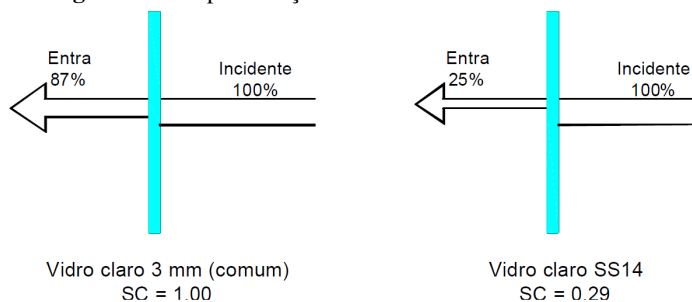
Figura 10 – Exemplo do cálculo do WWR



Fonte: SIGNOR, 1999, p. 12

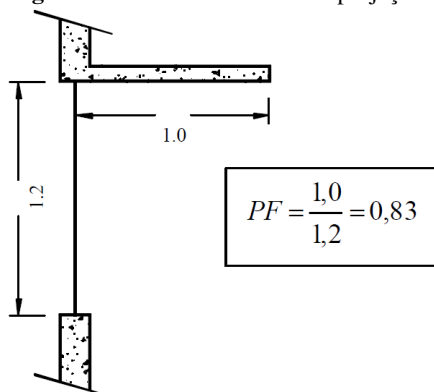
O percentual de radiação solar que passa através do vidro, denominado de coeficiente de sombreamento (SC) ou de fator solar (FS) (Figura 11), e o Fator de Projeção (*Projection Factor* - PF), que é a relação entre o elemento de proteção solar com a janela (Figura 12) são outras variáveis relacionadas com as aberturas que devem ser avaliadas.

Figura 11 – Representação do coeficiente de sombreamento



Fonte: SIGNOR, 1999, p. 12

Figura 12 – Cálculo do fator de projeção



Fonte: SIGNOR, 1999, p. 13

Os parâmetros operacionais são relativos aos motores e componentes dos aparelhos e equipamentos elétricos, que convertem parte da energia consumida em calor para o ambiente, o qual depende da potência elétrica instalada e do tempo de uso, na execução das diversas atividades dentro das edificações.

O parâmetro ocupacional está relacionado com o metabolismo do corpo humano que processa e queima as calorias existentes nos alimentos. Neste processo, parte da energia que o corpo utiliza para a realização de trabalho também é convertida em calor através de mecanismos termorreguladores, responsáveis pela manutenção da temperatura interna do corpo humano. A quantidade de calor que o corpo troca com o meio está em função da atividade exercida, da vestimenta utilizada, da temperatura, umidade e do movimento do ar (LAMBERTS, 1997).

2.4. NORMATIZAÇÕES EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Nas últimas décadas do século XX o homem começou a repensar a maneira como tem interagido com o meio ambiente e se relacionado com os recursos naturais necessários para o desenvolvimento da sociedade. Essa transformação de pensamento tem início ainda na década de 70 com a crise do petróleo que desencadeou uma crise energética em diversos países. Após esse período, muitos deles criaram programas ou propostas de incentivo visando à redução do consumo de energia e o combate ao desperdício, resultando posteriormente na criação de normas de eficiência energética.

Atualmente, países como: Estados Unidos, Canadá, Reino Unido, México, Austrália, Portugal, Espanha, Nova Zelândia, Singapura, Hong Kong, Filipinas, dentre outros, possuem algum tipo de regulamentação ou legislação em eficiência energética. Essas legislações

também foram impulsionadas após a assinatura do Protocolo de Kyoto em 1997, o qual firma um acordo internacional com o compromisso de reduzir as emissões de gases poluentes responsáveis por alterações climáticas no planeta. O acordo firmado esperava fazer com que os países mais poluentes conseguissem, até 2012, reduzir a emissão de gases em, pelo menos, 5,2% em relação aos níveis de 1990. O Brasil ficou excluído deste compromisso, embora tenha tido um progressivo desenvolvimento econômico e industrial nas últimas décadas e seus níveis de emissão de CO₂ também sejam elevados, sobretudo em decorrência das queimadas.

O protocolo de Kyoto também desencadeou uma série de reflexões sobre o processo de ocupação do homem e sua relação com o meio ambiente. O CIB, Conselho Internacional para Pesquisas e Inovações nos Edifícios e na Construção, estabeleceu algumas áreas de atuação incluídas na Agenda 21 para construções sustentáveis, entre elas:

- Gerenciamento e Organização (técnica, social, econômica, legal e política);
- Otimização de produtos e edificações;
- Consumo de recursos;
- Impacto das construções no desenvolvimento urbano;
- Cargas no meio ambiente;
- Questões sociais, culturais e econômicas.

Muitos países em desenvolvimento ainda não possuem qualquer tipo de regulamento de eficiência energética em edificações. No Brasil, por exemplo, a lei que dispõe sobre a política nacional de conservação e uso racional de energia (lei 10.295/01) só foi publicada em 2001 em decorrência do racionamento de energia causado pela crise do abastecimento elétrico (BRASIL, 2001^a). A seguir será abordado sobre os principais regulamentos de eficiência energética no contexto internacional e nacional.

2.4.1. Estados Unidos

De acordo com Goulart (2005^a), considera-se o *Energy Policy Act*, criado em 1992, como a primeira lei em eficiência energética dos Estados Unidos. Sua criação, a priori, objetivava regular o uso de combustíveis fósseis, reduzir a dependência do petróleo internacional, diminuir os impactos ambientais e fomentar o crescimento econômico em longo prazo. Esta iniciativa incluía também novas opções que regulamentavam a geração de eletricidade, mudanças em licenciamento para energia nuclear e uma variedade de incentivos fiscais.

O *Energy Policy Act* estabelecia que cada estado deveria atentar para que as edificações residenciais atendessem os requisitos estabelecidos pelo *Model Energy Code* (MEC), também criado em 1992, e as edificações comerciais e de serviço deveriam atender às especificações da *ASHRAE*¹³ *Standard 90.1*, criada em 1989.

Atualmente, 43 estados adotam a *Standard 90.1* ou versões anteriores para edificações comerciais, dois estados adotam o MEC e os demais estados possuem regulamentações próprias ou adaptações das outras duas. Um dos estados com regulamentação própria é o estado da Califórnia; sua norma ficou conhecida por *Title 24* (GOULART, 2005^a).

2.4.1.1. Modal Energy Code – MEC

O MEC contém critérios para edificações residenciais uni e bi-familiares, bem como edifícios baixos multi-familiares, edificações novas e para reformas com ampliações de edifícios existentes. Conforme mencionado anteriormente, muitos estados americanos desenvolveram seus próprios códigos de eficiência energética, porém, após o MEC ser referenciado no *National Affordable Housing Act* de 1990 e no *Energy Policy Act* de 1992, mais estados passaram a adotá-lo como referência ou atualizar seus próprios códigos seguindo o padrão do MEC. Outros estados o utilizaram apenas como prática recomendada e não de caráter obrigatório (GOULART, 2005^a).

O código tem seu enfoque maior na envoltória do edifício, no isolamento térmico de forros, paredes (inclusive as de subsolo), piso e lajes. Devido à estreita relação que o clima tem com o consumo de energia um código específico para cada clima (*Climate – Specific Code*) mostra alguns níveis de isolamento de janelas que estão de acordo com as especificações do MEC, o qual exige critérios básicos indiferentes à conformidade de envelope utilizada. O MEC basicamente exige:

- Garantir a estanqueidade ao envelope do edifício para restringir perda de ar (impermeabilização e vedação contra chuva, neve e frio de todas as juntas);
- Instalação de retardadores de vapor na maioria dos climas;
- Instalação de controle de temperatura (individuais e ajustáveis para cada sistema de aquecimento ou resfriamento do ar);
- Isolamento e vedação de dutos em espaços não condicionados;
- Instalação de medidores individualizados para cada unidade em habitações multi-familiares;
- Instalação de interruptores para aquecedores, coberturas e *timers* para piscinas.

¹³ American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

Essas e outras exigências do MEC aplicam-se a toda nova construção e reformas com ampliações de edifícios existentes, sejam eles residenciais ou comerciais. Os construtores dos estados que adotaram o MEC como referência deveriam demonstrar conformidade com o código para que as edificações pudessem se qualificar para hipotecas. Para demonstrar essa conformidade, os edifícios comerciais deveriam ser avaliados a partir de um método prescritivo simples contido na ASHRAE 90.1-1989. Para os edifícios residenciais, o método consistia na utilização de uma ferramenta de simulação do uso de energia da edificação proposta (GOULART, 2005^a).

Para que a edificação seja construída com qualidade MEC, deverá ter seus materiais especificados e anotados nas plantas ou em outra documentação de conformidade anexada, como por exemplo, o *MECcheck*, que estabelece uma lista de procedimentos criada pelo departamento de energia dos EUA (DOE) para auxiliar os construtores a atenderem as exigências do código. Após a documentação reunida e entregue, os inspetores avaliarão se:

- O isolamento das paredes, forros e pisos estão propriamente instalados e com os valores de resistência mostrados nas plantas;
- A transmitância térmica de superfícies envidraçadas está de acordo com os valores mostrados nas plantas;
- As áreas envidraçadas estão como mostradas no projeto;
- Os dutos, frestas e juntas estão vedados;
- As tubulações de água quente e de aquecimento estão isoladas;
- Há medidores elétricos individuais para cada unidade familiar, em habitações multifamiliares;
- Foram instalados interruptores para aquecedores, coberturas e *timers* para piscina.

Para a implementação do Model Energy Code foi necessário um sistemático processo de planejamento que envolvia o aumento da conscientização dos construtores, o estabelecimento de estratégias para a disponibilização dos materiais em conformidade com o código e o planejamento de treinamento para construtores e profissionais ligados ao código de eficiência energética. Somente após esse processo é que o código tornou-se obrigatório.

Uma das críticas feitas ao código diz respeito à ênfase dada às prescrições da envoltória do edifício, haja vista que sua elaboração foi orientada para edificações que exigiam aquecimento. Para os climas quentes, elementos arquitetônicos como brises e beirais apresentam melhor custo-benefício do que as prescrições enfatizadas no código. Contudo, o MEC representa um avanço entre outros códigos de eficiência energética.

A partir de 1998, o MEC foi convertido para o *International Energy Conservation Code* (IECC). Segundo Lucas and Meyers (apud GOULART, 2005^a, p. 18) as principais diferenças são:

- Alguns acréscimos estabelecendo um coeficiente de ganho de calor máximo foram fornecidos (SHGC)¹⁴, sendo 0,4 para aberturas em climas quentes (onde necessita refrigeração). O IECC acrescenta uma referência ao *National Fenestration Rating Council* (NFRC) Standard 200-95 para determinar produtos com SHGC (aberturas) e fornece valores padronizados para produtos não relacionados nessa norma (Standard NFRC 1995);
- Acrescentou-se novo método prescritivo usando tabelas e especificações orientadas;
- Uma sessão chamada “*Referenced Standards*” foi adicionada ao primeiro capítulo, estabelecendo que os requerimentos do IECC sejam precedentes quando entram em conflito com requerimentos de normas referenciadas pelo IECC;
- O IECC permite que órgãos oficiais da edificação aproveem o uso de ferramentas alternativas de conformidade que facilitam a implementação do IECC, tais como planilhas e softwares;
- As tabelas de transmitâncias (U) para aberturas envidraçadas foram revisadas segundo a *ASHRAE Handbook fundamentals 1997*;
- Foram adicionados requerimentos prescritivos para o isolamento de paredes de *skylights* baseados em graus-dia para aquecimentos.

2.4.1.2. ASHRAE 90.1 E 90.2

Em 1989 foi criada a *Standard 90 – Energy Conservation in New Building Design*, norma de eficiência energética para edificações elaborada como parte do programa americano de incentivo ao uso racional de energia. Esta norma passou a atuar em duas vertentes, a *Standard 90.1 (Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings)* para edificações não-residenciais e a *Standard 90.2 (Energy-Efficient Design of Low-Rise Residential Buildings)* para edificações residenciais, baseadas em um índice de avaliação da transmissão de calor entre os ambientes externos e internos através da envoltória da edificação (o OTTV – *Overall Thermal Transmittance Value*), medido em W/m². Este índice considerava a transmissão térmica da envoltória através de condução de elementos opacos como parede, coberturas e pisos, condução de elementos transparentes como o vidro e

¹⁴ *Solar Heat Gain Coeficien.*

policarbonato e a radiação através dos elementos transparentes. Em síntese, quanto menor o índice OTTV menor a quantidade de calor que o envelope do edifício transmite para o interior da edificação (GOULART, 2005^a).

Dez anos depois, em 1999, a *Standard 90.1* sofreu modificações, abandonando o índice OTTV e utilizando normas prescritivas, sistemas de compensações e o método *Energy Cost Budget*. Os limites máximos e mínimos de transmitância térmica de elementos transparentes e opacos, a resistência térmica de isolamentos e o fator solar de vidros de acordo com áreas de janelamento das fachadas e orientação solar, podem ser indicados pelo método prescritivo. O sistema de compensações é outro método que permite que alguns limites exigidos pelo método prescritivo sejam ultrapassados, desde que outros limites de eficiência energética fiquem abaixo do nível mínimo exigido. O último método é o *Energy Cost Budget*, que consiste na simulação computacional comparativa do consumo de energia de dois modelos, onde um segue os parâmetros indicados no método prescritivo e o outro modelo não deve ter seus custos de consumo superiores ao modelo de projeto. No entanto, a norma ressalta que os cálculos de custo de energia são aplicáveis somente para determinar a conformidade com a norma e não para prever o real consumo energético da edificação depois de construída (GOULART, 2005^a).

Atualmente a versão mais atual de 2004 aborda: a envoltória da edificação, sistemas de condicionamento de ar, iluminação artificial, aquecimento de água, motores e equipamentos. O clima é classificado através dos cálculos dos “graus dias” para resfriamento e aquecimento relacionando uma tabela com prescrições limites para cada componente opaco ou transparente com cada clima. A classificação climática além de abordar as cidades americanas classifica outras cidades internacionais, dentre as quais oito são brasileiras (Porto Alegre, São Paulo, Rio de Janeiro, Brasília, Salvador, Recife, Fortaleza e Belém) (Tabela 3). A Tabela 4 apresenta as principais características da ASHRAE 90.1 (GOULART, 2005^a).

Tabela 3 – Zonas climáticas das cidades segundo a ASHRAE

Número da Zona	Definição	Critério Térmico	Cidade	Zona
1	Very Hot-Humid (1A)* Dry (1B)	5000 < CDD10°C**	Belém	1
			Brasília	2
			Fortaleza	1
			Porto Alegre	2
			Recife	1
2	Hot-Humid (2A) Dry (2B)	3500 < CDD10°C ≤ 5000	Rio de Janeiro	1
			Salvador	1
			São Paulo	2

*Optou-se por usar os termos em inglês para melhor veracidade com a definição.

**CDD10°C Significa Graus-Dias para refrigeração (cooling dregree-day) com temperatura-base de 10 °C.

Fonte: GOULART, 2005^a, p.21

Tabela 4 – Principais características da ASHRAE 90.1.

A Norma fornece:	
1. Requerimentos mínimos de eficiência energética para o projeto e construção de novos edifícios; novas porções de edifícios e seus sistemas e novos sistemas e equipamentos para edifícios existentes;	
2. Critérios para determinar conformidade com essas exigências.	
As provisões da norma se aplicam:	
Ao envelope do edifício, fornecido que os espaços fechados são:	<ul style="list-style-type: none"> a) Aquecidos por um sistema de aquecimento cuja capacidade seja maior ou igual a 3,4 Btu/h ft² ou 10,7 W/m² b) Refrigerados por um sistema de refrigeração cuja capacidade é maior ou igual a 5 Btu/h ft² ou 15,8 W/m².
Aos sistemas e equipamentos usados em conjunto com edificações:	<ul style="list-style-type: none"> a) Aquecimento, ventilação e ar condicionado; b) Água quente; c) Distribuição do sistema elétrico e quadro medidor; d) Motores elétricos; e) Iluminação.
Para obter conformidade	
Envoltória	
Paredes e Telhados – Utilizar um dos dois métodos:	<ul style="list-style-type: none"> a) Valores mínimos de resistência térmica (R-Value) para isolamento (resistência térmica do isolamento em cavidades e isolamento contínuo somente); b) Valores máximos de Transmitância térmica (U-factor), Condutância térmica (C-factor) ou fator de perda de calor pelo perímetro (F-factor – para lajes de térreo) para todo o edifício.
Aberturas	<ul style="list-style-type: none"> a) Área vertical total da abertura deve ser menor que 50% do total da área da parede; b) A conformidade com o U-factor e SHGC deve ser demonstrada por todas as aberturas. SHGC (solar heat gain coefficient).
Sistema de iluminação e equipamentos	
Prescritivos – Determinar a densidade de potência de iluminação (LPD) com um dos métodos	<ul style="list-style-type: none"> a) Método da área total: para determinar a potência de iluminação interna permitida. b) Método de cálculo por ambiente: método alternativo que permite maior flexibilidade.
Obrigatórios	<ul style="list-style-type: none"> a) Controle automático de iluminação: a iluminação interna em edifícios maiores que 5000 ft² (465 m²) deve possuir um controle para desligamento automático em todos os espaços; b) Iluminação de saída (de emergência); c) Iluminação do terreno na área externa do edifício; d) Potência de iluminação para o exterior do edifício.

Fonte: GOULART, 2005^a, p.24

2.4.1.3. Title 24 – Califórnia

A norma de eficiência energética do estado da Califórnia, na verdade, é parte integrante de um conjunto de códigos denominado *California Code of Regulations*, onde a 6^a parte corresponde ao *California Energy Efficiency Standards for Residential and Nonresidential Buildings*. Foi criada em 1978 em função da expedição de um mandato legislativo que versava sobre a redução do consumo de energia na Califórnia. A Title 24 possui 16 classificações de zonas climáticas para o estado e organiza as edificações em oito atividades: residencial, montagem, negócio, educacional, industrial, pesado, mercantil e

armazenamento. O cumprimento dos requisitos do código é obrigatório para todas as edificações condicionadas artificialmente (seja para o aquecimento ou resfriamento). Para as edificações novas o código é obrigatório para os requisitos de envoltória, aquecimento de água, de condicionamento de ar e de iluminação e todos eles podem ser avaliados por um método prescritivo ou por um método de avaliação de desempenho térmico da edificação (OFFICE OF THE AUSTRALIAN BUILDING CODES, 2000 apud GOULART, 2005^a)

No método prescritivo, valores máximos e mínimos são determinados para a resistência térmica, transmitância térmica, fator solar, materiais ou componentes da envoltória em função da massa do componente ou de sua orientação. Para o método de avaliação de desempenho térmico, a edificação proposta é comparada com uma edificação similar cujas características atendam aos métodos prescritivos ou de simulação computacional.

A Title 24 é revisada periodicamente para poder considerar a incorporação de novas tecnologias em eficiência energética assim como a utilização de novos métodos. Após 34 anos de atuação muitas revisões já foram feitas, sendo que a versão mais atualizada entrou em vigor em outubro de 2005, exigindo que as edificações não residenciais instalem (NATIONAL ENVIRONMENTAL EDUCATION & TRAINING FOUNDATION, 2003 apud GOULART, 2005^a):

- Coberturas “frias”, ou seja, de alta reflexão e com isolamento térmico, a fim de reduzir em 10 °C a temperatura de superfície da cobertura e em 20% os custos com ar-condicionado;
- Controle de liga e desliga na iluminação artificial em ambientes atendidos por iluminação zenital;
- Sistema de Iluminação mais eficiente.

Em 1998, foi expedido um alerta energético para a redução do consumo de energia pelos grandes consumidores sob o risco de um colapso no sistema energético do estado, contudo, desde sua criação em 1978 a norma Title 24 já permitiu economizar mais de 36 bilhões de dólares em custo com eletricidade e gás natural (CALIFORNIA ENERGY COMMISSION STAFF, 1999 apud GOULART, 2005^a).

2.4.2. Canadá

Os códigos de eficiência energética no Canadá são dois: o *Model National Energy Code of Canada for Buildings* para as edificações que não atendam o *Model National Energy Code of Canada for Houses*, incluindo edificações residenciais verticais acima de três pavimentos e edificações não residenciais. Ambos os códigos são formulados e propostos pelo

National Research Council (NRC) e baseiam-se em análises de custo-benefício para o edifício, levando em consideração os custos para a implementação do edifício, os custos da energia, características do clima e os tipos de combustíveis envolvidos no processo (CARLO, 2008).

Os códigos canadenses também estabelecem requisitos para a envoltória, para o sistema de condicionamento de ar, sistema de aquecimento de água e iluminação artificial, os quais podem ser avaliados por um método prescritivo ou por um método de desempenho da edificação.

O método prescritivo faz uso de permutações ou tabelas. Para a envoltória, as tabelas indicam os limites para a transmitância térmica de componentes opacos e transparentes em função de sua área de fachada. Estes limites estão em função da fonte de energia que será utilizada para o aquecimento do edifício, seja ela a eletricidade, combustível fóssil ou gás natural. As permutações entre os componentes da envoltória podem ser feitas com base em cálculos ou através de programa computacional. Os demais requisitos de iluminação, condicionamento de ar e aquecimento de água, podem ser obtidos através da determinação da densidade de potência instalada (DPI).

O método de desempenho da edificação compara as estimativas de custo do consumo anual da edificação proposta com o custo de consumo anual pré-definido. Este método possibilita a utilização de fatores de ajustes para diferentes fontes de energia com o objetivo de atingir o consumo desejado (CARLO, 2008).

2.4.3. México

A classificação da eficiência energética de edificações não residenciais no México é feita através da norma NOM 008 de 1995, atualizada em 2001. Nesta norma a avaliação é feita somente através do cálculo de ganho térmico do edifício para as estações de verão/primavera. Semelhantemente aos demais códigos já estudados, a edificação proposta deve ter características semelhantes aos do edifício de referência, porém com um percentual de abertura na fachada de 40%, coeficiente de sombreamento (*shading coefficient*) igual a 1, entre outras características que variam com o clima.

Após a avaliação do edifício, uma etiqueta com a classificação da eficiência energética deve ser posta no hall de entrada contendo a razão entre o ganho térmico global e o ganho térmico global do edifício de referência (COMISIÓN NACIONAL PARA EL AHORRO DE ENERGÍA, 1995 e COMISIÓN NACIONAL PARA EL AHORRO DE ENERGÍA, 2001 apud CARLO, 2008. p.16).

2.4.4. União Europeia

Após a assinatura do protocolo de Kyoto a União Europeia se comprometeu em reduzir 8% das emissões dos gases causadores do efeito estufa (CO₂) entre o período de 2008 a 2012, comparado com os níveis no ano de 1990. Atualmente os edifícios consomem aproximadamente 40% da demanda energética da União Européia, e são responsáveis pela emissão de aproximadamente 30% de CO₂ provenientes da queima de combustíveis fósseis para a geração dessa energia. Logo, a redução do consumo energético das edificações influenciaria diretamente na emissão de CO₂ (GOULART, 2005b).

Gradativamente, a União Europeia e seus estados membros têm tornado suas normas de eficiência energética mais rigorosas, haja vista que as mesmas eram demasiadamente preocupadas em reduzir a necessidade de aquecimento no inverno e pouco levavam em consideração o uso do ar condicionado no verão. Países como Irlanda, Itália e Suécia não possuem nenhuma recomendação a questões com o ganho solar, áreas de vidro, orientação, dispositivos de sombra e adoção de ventilação natural como meio de evitar o aquecimento.

Em dezembro de 2002 a União Européia adotou em suas diretrizes sobre o Desempenho de Energia de Edifícios que os estados-membros deveriam revisar suas normas de eficiência energética para que levassem em conta a necessidade de refrigeração e sistemas de condicionamento de ar em todos os tipos de edifícios. Este processo levou a criação de programas como o “Energia Inteligente – Europa de 2003 a 2006” que objetivava apoiar o desenvolvimento sustentável no contexto da energia. O processo de normalização de edificações eficientes consistiu em criar um quadro comum para a melhoria do rendimento energético, unificando as normas dos países da União Europeia. Essa unificação propõe que sejam integrados às leis de cada país (PARLAMENTO EUROPEU, 2002 apud CARLO, 2008, p.17):

- A elaboração de um quadro geral para uma metodologia comum de cálculo de rendimento energético integrado;
- A aplicação de requisitos mínimos de eficiência energética para novos edifícios e para grandes edifícios sujeitos a reforma;
- A certificação energética de edifícios;
- Normas específicas para organismos públicos.

Após estabelecer os critérios comuns aos membros do grupo, alguns países tiveram que revisar suas normas a fim de atender o acordo firmado, como foi o caso de Portugal e Espanha.

2.4.5. Espanha

O regulamento espanhol denominado *Condiciones Térmicas em los Edifícios* (CTE) recomenda a utilização de dois procedimentos: uma opção simplificada e uma opção de avaliação geral. A opção simplificada é um pouco controversa, pois faz uso de um indicador para a envoltória, com coeficiente de transferência de calor em regime estacionário, ou seja, sem considerar a radiação solar. Casals (apud CARLO, 2008, p.17) considera esse indicador equivocado, afirmando que ele não quantifica o consumo energético da edificação e não considera o período de resfriamento. Este método simplificado compara a demanda energética da envoltória com a demanda energética de uma envoltória de referência, que é calculada através de um método que não desvincula a edificação de sua volumetria, prejudicando na correta descrição do desempenho energético. Para edificações com baixo fator de forma¹⁵, o método se apresenta mais rigoroso, gerando uma comparação errônea entre a edificação de referência e a edificação proposta. Outra crítica feita ao CTE é a pouca ênfase dada às estratégias passivas de resfriamento, devido à pequena atenção dada no período de verão; e de aquecimento, por adotar um método simplificado em detrimento da complexidade do método geral, indicado para edificações com estratégias passivas.

2.4.6. Portugal

No ano de 2001, Portugal lançou o Programa E4, que objetivava promover a melhoria da eficiência energética cobrindo todos os tipos de consumo, tais como aquecimento de água, equipamentos, iluminação, condicionamento de ar e envoltória, criando meios que facilitassem o uso de energias renováveis nos edifícios, tais como energia solar e fotovoltaica. O intuito era promover ações que duplicassem a disponibilidade de energia elétrica de origem renovável num horizonte de dez a quinze anos; algumas dessas medidas foram:

- Revisão da norma térmica de 1991, o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e da norma de climatização Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios, de 1998 (RSECE), que entraram em vigor em 2006;

¹⁵ Razão entre a área da envoltória e o volume total da edificação (A_{env}/V_{tot}).

- Introdução do programa de certificação energética de edifícios;
- Promoção da certificação energética das edificações públicas como exemplo à população.

Posteriormente, o programa E4 evoluiu para o Programa Nacional para a Eficiência Energética nos Edifícios (P3E), onde foram reformuladas as normas técnicas de desempenho térmico (o RCCTE e o RSECE), sendo instituída a certificação obrigatória da eficiência das edificações e a qualificação técnica de profissionais. Das normas de desempenho térmico o RCCTE aplica-se a edificações residenciais e de pequeno porte que não possuam sistema de condicionamento de ar, requerendo os seguintes requisitos: isolamento das paredes e cobertura de maneira a garantir coeficientes de transmissão térmica 40% menores do que os atuais, e o uso de vidros duplos nas zonas climáticas mais frias e nas orientações sem significativos ganhos de calor por radiação. O P3E estabeleceu ainda novos métodos de cálculo considerando a energia primária a partir das necessidades de aquecimento e resfriamento e tornou obrigatório o uso da energia solar para aquecimento de água, quando atendidas condições pré-determinadas.

O RSECE é voltado para edificações climatizadas e sua atuação deve ser tanto na fase de projeto quanto na fase de uso, exigindo mecanismo de regulação e controle dos sistemas consumidores de energia e gestão da energia obrigatórios para sistemas de climatização cuja potência instalada seja superior a 25 kW. As auditorias deverão garantir que o consumo de energia da edificação não ultrapasse um limite considerado excessivo para cada tipologia, usando o Indicador de Eficiência Energética. Ele é a média dos indicadores dos 3 últimos anos anteriores à auditoria e considera apenas os requisitos relacionados à eficiência de sistemas de climatização. Os requisitos da envoltória devem ser atendidos usando o RCCTE (DIRECÇÃO GERAL DE ENERGIA, 2002b e PORTUGAL, 2006 apud CARLO, 2008, p.19).

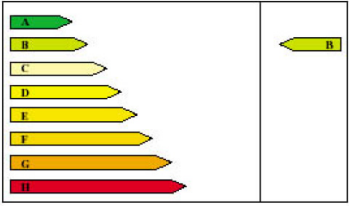
O programa obrigatório de certificação energética de edificações em Portugal pretende informar ao usuário final sobre a prestação energética dos edifícios e desta forma instituir um novo elemento de informação qualitativa no mercado de vendas e aluguel de edifícios. A certificação é obrigatória para:

- Obtenção de licença de edifícios novos;
- Reabilitação de edifícios existentes;

- Locação e vendas de edifícios de habitação e de serviços existentes (com validade do certificado de 5 anos);
- Todos os edifícios de serviço com mais de 1000 m², renovada a cada 5 anos.

O certificado da edificação avaliada se dá na forma de uma etiqueta (Figura 13), abrangendo classificações que vão de “H” (menos eficiente) a “A” (mais eficiente).

Figura 13 – Etiqueta de classificação de eficiência energética de edificação

NOME/LOGO DA ENTIDADE ACREDITADA	SIMBOLO DO SPO
Edifício/Fracção:	Aquecimento <input type="checkbox"/>
Morada:	Arrefecimento <input type="checkbox"/>
Area Útil de Pavimento:	AOS <input type="checkbox"/>
Data de Emissão do Certificado:	Iluminação <input type="checkbox"/>
	
Consumo Energético: _____ kWh/m ² .ano	
Emissões de CO ₂ : _____ ton/ano	
Válido até: _____	Assinatura do Director Técnico (Selo Branco)

Fonte: CARLO, 2008, p.20

2.4.7. Austrália

Na Austrália, embora haja um órgão central regulamentador das edificações, cada estado é individualmente responsável pelo controle de obras e possui a liberdade de adotar sua própria regulamentação dentro de seus respectivos limites. Embora todos os estados referenciem o *Building Code of Australia* (BCA), criado pela *Australian Building Code Board*, apenas dois possuem apêndices com requisitos de eficiência energética, limitando a resistência térmica de materiais utilizados somente em edificações residenciais (AUSTRALIAN BUILDING CODES BOARD, 2004 apud CARLO, 2008, p.20).

O BCA foi introduzido em 1996 e caracteriza-se por fazer uma avaliação baseada em requisitos de desempenho, os quais limitam as medidas de eficiência energética ao desempenho térmico para aquecimento ou resfriamento, basicamente em relação ao envelope do edifício. Diferentemente de normas de outros países, o BCA não leva em consideração outros parâmetros de economia de energia tais como iluminação artificial, sistema de aquecimento de água e sistema de condicionamento de ar. Os requisitos de desempenho que devem ser atendidos referem-se à escolha dos materiais e componentes da edificação que

satisfazem ao nível exigido pelo código. Outro método, baseado em testes de laboratórios, cálculos, avaliações de peritos ou certificações, pode ser usado para comprovar que os materiais e componentes do projeto atendem ao nível de desempenho pré-estabelecido.

2.4.8. Hong Kong

Hong Kong possui um código de obras criado em 1995, onde indicava que a edificação deveria atender a um OTTV (*Overall Thermal Transfer Value*), valor indicado no *Code of Practice of OTTV for Buildings* para edificações comerciais e hotéis. Neste código de obras, as edificações de serviço e de entretenimento coletivo se enquadravam dentro da classificação de edifícios comerciais e eram avaliados levando em consideração as seguintes variáveis para o cálculo do OTTV: área de superfícies opacas, transparentes e total, coeficiente de sombreamento da superfície transparente, fator solar, diferença de temperatura equivalente da superfície opaca, absorvidade e transmitância térmica da superfície opaca, sendo as superfícies opacas paredes ou coberturas e as transparentes, aberturas envidraçadas verticais ou zenitais (HONG KONG GOVERNMENT, 1997 apud CARLO, 2008, p. 21).

O Código foi renovado no ano 2000, onde fixava valores mais rigorosos para os limites do OTTV, sendo diferenciado para duas volumetrias: as que se assemelham a torres (verticais) e as que se assemelham a pódios (horizontais) (CARLO, 2008).

2.4.9. Brasil

No Brasil, conforme mencionado anteriormente, as primeiras iniciativas de regulamentar ações que visassem à eficiência energética surgiram em decorrência da crise energética de 2001, a qual obrigou o país a viver um período de racionamento de energia. Em consequência disso foi sancionada a Lei nº 10.295, de 17 outubro de 2001, a qual “dispõe sobre a política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia” (BRASIL, 2001^a), e afirma, em seu artigo 4º, que “o Poder Executivo desenvolverá mecanismos que promovam a eficiência energética nas edificações construídas no País”. A referida lei foi ainda complementada pelo Decreto nº 4.059 de 19 de dezembro de 2001, indicando que:

Os 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, serão estabelecidos com base em indicadores técnicos e regulamentação específica a ser fixada nos termos deste Decreto, sob a coordenação do Ministério de Minas e Energia. (BRASIL, 2001b).

Neste decreto instituiu-se o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE), composto por representantes do Ministério de Minas e Energia (órgão

que preside o comitê), Ministério da Ciência e Tecnologia, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, representante da Agência Nacional de Energia Elétrica, Agência Nacional do Petróleo, além de um representante de universidade brasileira e um cidadão brasileiro, ambos especialistas em matéria de energia. Partindo do referido Decreto, também foi criado o Grupo Técnico para a Eficientização de Energia em Edificações no País (GT-MME).

Em outubro de 2003, lançou-se um subprograma do Programa Nacional de Conservação de Energia (PROCEL) denominado PROCEL Edifica, o qual através do plano de ação para eficiência energética em edificações estabeleceu seis vertentes de ações: Arquitetura Bioclimática; Indicadores Referenciais para Edificações; Certificação de Materiais e Equipamentos; Regulamentação e Legislação; Remoção de Barreiras à Conservação de Energia e; Educação.

O objetivo era fazer com que cada uma das seis vertentes desenvolvesse uma série de projetos, a fim de implementar a eficiência energética na cultura construtiva nacional, abrangendo desde a fase que antecede a criação do projeto, através da educação e certificação de materiais, até a revisão de leis de eficiência energética para constante atualização tecnológica. Um desses projetos foi o desenvolvimento de regulamentação da eficiência energética em edificações.

A etapa seguinte foi a criação do convênio entre o PROCEL e a Universidade Federal de Santa Catarina em 2004. Este convênio estabeleceu as bases técnicas para o desenvolvimento da regulamentação, que desenvolveu estudos e verificou que as soluções eficientes de projeto associadas ao uso de equipamentos energeticamente eficientes poderiam levar para diferentes níveis de classificação de eficiência do edifício. Diante disso, o GT-MME considerou que trabalhar a variação para definição de uma classificação incentivaria a construção de edificações cuja eficiência estivesse acima do mínimo requerido por uma norma. Optou-se então por desenvolver uma regulamentação para a etiquetagem de edifícios, ao invés de simplesmente estabelecer uma norma com prescrições mínimas, pois poderia servir como um diferencial rapidamente incorporado pelo mercado imobiliário. Em setembro de 2006 foi aprovado pelo CGIEE a versão experimental do texto da regulamentação de etiquetagem do nível de eficiência energética de edifícios. Em 2009, através da Portaria INMETRO nº 53 de 27 de fevereiro, foi lançado oficialmente o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos (RTQ-C), que estabelece parâmetros para a definição do nível de eficiência energética de

edifícios e posterior fornecimento da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). Em 2010, através da Portaria INMETRO nº 372 de 17 de setembro, o regulamento sofreu uma revisão, onde a modificação mais considerável está no método para a determinação do nível de eficiência do sistema de iluminação artificial. Em dezembro de 2012 ganhou mais uma atualização com o objetivo de tornar mais inteligíveis alguns conceitos e procedimentos de cálculo. Atualmente, o regulamento está em vigor apenas em caráter voluntário, mas passará a ser obrigatório dentro de um prazo ainda a ser definido.

2.5. REQUISITOS TÉCNICOS DA QUALIDADE DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS COMERCIAIS, DE SERVIÇO E PÚBLICOS – RTQ-C

De acordo com o que foi explicitado anteriormente, o RTQ-C estabeleceu requisitos técnicos e métodos para a classificação do desempenho energético de edificações. O regulamento aplica-se para edificações comerciais, de serviço e públicas que possuam área total mínima de 500 m² ou com tensão de abastecimento superior ou igual a 2,3 kV, ou seja, correspondendo aos subgrupos A1, A2, A3, A3a e A4; e ainda a edifícios condicionados, parcialmente condicionados ou ventilados naturalmente, ou seja, não condicionados.

A classificação da edificação é obtida através da avaliação de três requisitos, que são: a eficiência e potência instalada do sistema de iluminação artificial, a eficiência do sistema de condicionamento de ar e o desempenho térmico da envoltória do edifício. Para o regulamento, o consumo energético da edificação está diretamente relacionado aos ganhos ou perdas de carga térmica pela envoltória da edificação, que associados ao calor gerado pelos ocupantes, pelo uso dos equipamentos elétricos e pelo sistema de iluminação artificial, resultam no consumo dos sistemas de condicionamento de ar. O RTQ-C propõe duas metodologias de avaliação do desempenho energético, um método prescritivo, baseado em equações e tabelas com valores pré-definidos, e um outro método baseado em simulação computacional. Os dois métodos serão abordados na seqüência.

2.5.1. Metodologia Prescritiva

O método prescritivo, também chamado de método simplificado, reúne o resultado numérico da avaliação individual dos requisitos dos sistemas de iluminação, condicionamento de ar e envoltória, onde cada resultado irá corresponder a uma classificação que varia de “A” (mais eficiente) a “E” (menos eficiente), conforme Tabela 5. Os equivalentes numéricos deverão ser substituídos na equação geral (Equação 3) para a obtenção da classificação geral da edificação. O resultado é consequência das diferentes combinações possíveis entre os

resultados de eficiência dos requisitos analisados, atribuindo-se seus respectivos pesos: 30% para a envoltória, 30% para o sistema de iluminação e 40% para o sistema de condicionamento de ar. É importante observar que, dependendo do nível de classificação pretendido, o edifício deve cumprir pré-requisitos gerais e específicos para cada um dos sistemas avaliados, os quais serão abordados individualmente em seguida. Na equação geral ainda podem ser acrescentados valores referentes a bonificações por iniciativas que comprovadamente aumentem a eficiência da edificação, que podem crescer em até um ponto na classificação geral. A seguir, as bonificações serão abordadas com mais detalhes.

Tabela 5 - Equivalentes Numéricos para cada nível de eficiência

A	1
B	2
C	3
D	4
E	5

Fonte: BRASIL, 2009a, p. 59

(Equação 3)

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

Onde:

EqNumEnv: é o equivalente numérico da envoltória;

EqNumDPI: é o equivalente numérico do sistema de iluminação;

EqNumCA: é o equivalente numérico do sistema de ar condicionado;

EqNumV: é o equivalente numérico de ambientes não condicionados e/ou ventilados naturalmente;

APT: área de piso de ambientes de permanência transitória, desde que não condicionados;

ANC: é a área de piso de ambientes não condicionados de permanência prolongada;

AC: área de piso de ambientes condicionados;

AU: área útil;

b: pontuação obtida pelas bonificações, que varia de 0 a 1.

O resultado obtido na equação geral irá definir a classificação geral da edificação de acordo com os valores correspondentes informados na Tabela 6.

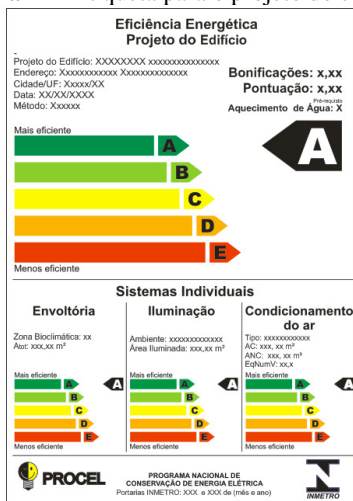
Tabela 6 - Tabela de Classificação Geral

PT	Classificação Final
≥ 4,5 a 5	A
≥ 3,5 a < 4,5	B
≥ 2,5 a < 3,5	C
≥ 1,5 a < 2,5	D
< 1,5	E

Fonte: BRASIL, 2009a, p. 61

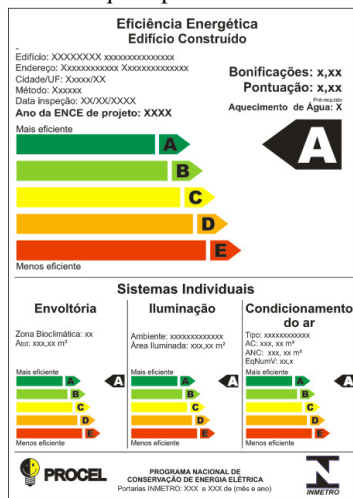
A classificação do nível de eficiência do edifício pode ser obtida na fase de projeto ou após o edifício ter sido construído e avaliado, como exemplifica a Figura 14 e Figura 15.

Figura 14 - Etiqueta para o projeto do edifício



Fonte: BRASIL, 2009a, p. 10

Figura 15 - Etiqueta para o edifício construído



Fonte: BRASIL, 2009a, p. 10

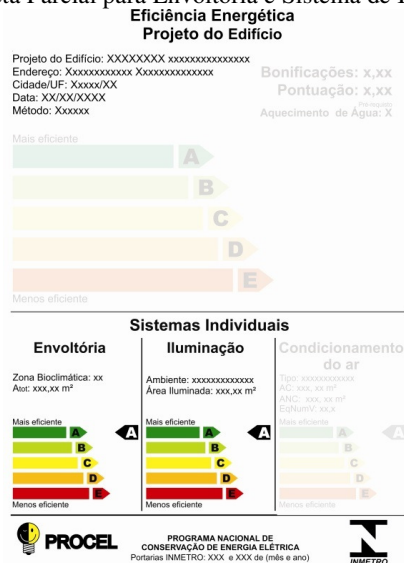
O regulamento pode ser aplicado para obter a classificação de todo o edifício ou somente em algumas partes deste, recebendo assim a classificação parcial. Esta etiqueta parcial irá classificar a eficiência da envoltória e dos sistemas separadamente, como mostra a Figura 16, Figura 17 e Figura 18.

Figura 16 – Etiqueta Parcial para a Envoltória de Edificações



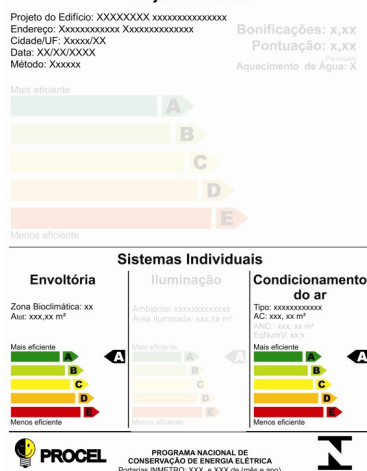
Fonte: BRASIL, 2009a, p. 30

Figura 17 – Etiqueta Parcial para Envoltória e Sistema de Iluminação artificial



Fonte: BRASIL, 2009a, p. 30

Figura 18 – Etiqueta Parcial para Envolvória e Sistema de Condicionamento de ar
Eficiência Energética
Projeto do Edifício



Fonte: BRASIL, 2009a, p. 30

No entanto, para o requisito de envoltória a avaliação deve considerar toda a edificação. Os demais requisitos de iluminação e de condicionamento de ar podem ser aplicados para um pavimento, um determinado conjunto de salas ou um ambiente somente.

O RTQ-C propõe dois métodos para a obtenção do nível de eficiência, o método prescritivo, o qual se baseia na utilização de equações e tabelas com valores pré-estabelecidos; e o método da simulação computacional, que utiliza softwares para a determinação do desempenho energético do edifício. Neste contexto, o regulamento esclarece:

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

2.5.1.1. Envolvória

A classificação da envoltória a partir do método prescritivo é baseada em um Indicador de Consumo (IC_{env}) obtido através de duas equações, uma aplicada para os casos de edificações com área de projeção (A_{pe}) menor que 500m², e outra equação para o caso de edificações com área de projeção maior que 500m². As equações estão em função da Zona

Bioclimática (ZB) em que está inserido o edifício, da área de projeção do edifício (A_{pe}) e do Fator de Forma da edificação ($FF=A_{env}/V_{tot}$)¹⁶.

As zonas bioclimáticas são determinadas pela norma NBR 15220-3 (ABNT, 2003), que estabelece o zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. A cidade de Belém, onde está inserido o edifício do CEAMAZON, está classificada como zona bioclimática 8 (Figura 19). Para esta zona o regulamento propõe duas equações para a determinação do Indicador de Consumo: a (Equação 4 para edifícios com área de projeção menor ou igual que 500 m² com um limite máximo para o fator de forma igual a 0,48; e a (Equação 5 para edifícios com área de projeção maior que 500 m² com limite mínimo para o fator de forma igual a 0,17.

(Equação 4)

$$IC_{env} = 454,47 \cdot FA - 1641,37 \cdot FF + 33,47 \cdot PAF_T + 7,06 \cdot FS + 0,31 \cdot AVS - 0,29 \cdot AHS - 1,27 \cdot PAF_T \cdot AVS + 0,33 \cdot PAF_T \cdot AHS + 718$$

(Equação 5)

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

Onde:

IC_{env} = Indicador de consumo da envoltória;

FA = Fator de altura (relação entre a área de projeção da cobertura (A_{pcob}) e o volume total (V_{total}));

FF = Fator de forma (relação entre a área da envoltória (A_{env}) e o volume total (V_{total}));

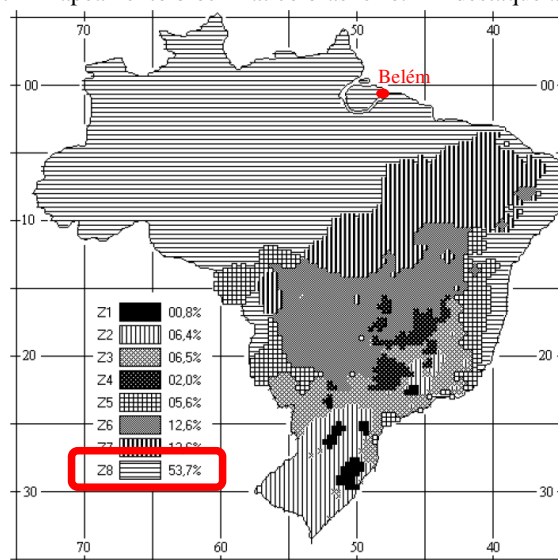
PAFT = Percentual de Abertura na Fachada Total;

FS = Fator Solar do vidro;

AVS = Ângulo Vertical de Sombreamento;

AHS = Ângulo Horizontal de Sombreamento.

¹⁶ A_{env} – Área da envoltória; V_{tot} – Volume total.

Figura 19 - Mapeamento bioclimático brasileiro. Em destaque a cidade de Belém

Fonte: ABNT, 2005c, p. 8

Após a substituição das variáveis nas fórmulas, o resultado do Indicador de Consumo deve ser comparado com uma escala de valores que varia de “A” a “E”, que descreve o nível de eficiência da envoltória. Quanto menor o resultado obtido mais eficiente será a envoltória da edificação. A escala numérica é determinada a partir dos parâmetros de Indicador de Consumo Máximo (IC_{maxD}) e Indicador de Consumo Mínimo (IC_{min}), que são obtidos através da mesma equação para o cálculo do Indicador de Consumo da envoltória, porém com parâmetros de entrada pré-estabelecidos pelo RTQ-C. A Tabela 7 mostra os parâmetros de entrada para o Indicador de Consumo Máximo que a edificação deve atingir para obter classificação D de eficiência; acima desse valor a edificação terá classificação E.

Tabela 7 - Parâmetros para o indicador de consumo máximo

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

Fonte: BRASIL, 2009a, p. 85

A Tabela 8 mostra os parâmetros de entrada para a obtenção do Indicador de Consumo Mínimo da envoltória da edificação:

Tabela 8 - Parâmetros para o indicador de consumo mínimo.

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

Fonte: BRASIL, 2009a, p. 85.

Os indicadores de consumo máximo e mínimo representam os limites dentro dos quais o indicador de consumo da envoltória deverá se enquadrar. O intervalo entre o máximo e o mínimo é dividido em quatro partes (Equação 6), onde cada parte é organizada de maneira a classificar a envoltória em um nível de eficiência, conforme mostra a Tabela 9.

(Equação 6)

$$i = \frac{IC_{\max D} - IC_{\min}}{4}$$

Tabela 9 - Limite dos intervalos dos níveis de eficiência.

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

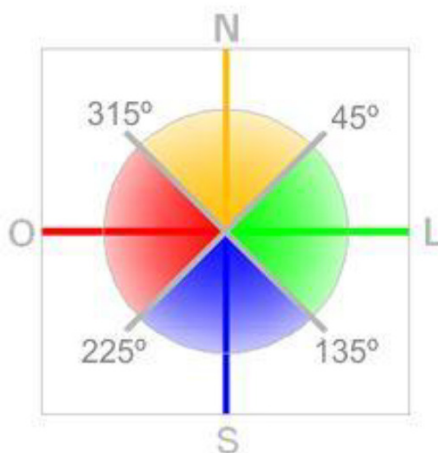
Fonte: BRASIL, 2009a, p. 86.

Inseridas na análise de eficiência da envoltória estão algumas variáveis que irão influenciar na determinação do resultado. Algumas das variáveis estão diretamente expressas na equação do Indicador de Consumo, como por exemplo, o Percentual de Abertura das Fachadas (PAFt), que é o resultado da razão entre a soma das áreas de aberturas envidraçadas, tanto dos fechamentos transparentes, como dos translúcidos, de cada fachada e a área total de fachada da edificação. O PAFt corresponde a um valor médio representativo do percentual de abertura de todas as fachadas. Contudo, o RTQ-C recomenda que a fachada que estiver orientada para o oeste deve ter seu percentual de abertura (PAFo) comparado com o percentual de abertura total da edificação (PAFt), se for 20% maior, é adotado o PAFo no cálculo de avaliação da envoltória.

A orientação solar das fachadas da edificação é outra variável. A recomendação do RTQ-C é adotar uma abrangência de 45° no sentido horário e anti-horário de cada ponto cardinal (Figura 20), ou seja, para as fachadas orientadas em outras direções geográficas deve ser adotada a orientação mais próxima, conforme é mostrado abaixo e exemplificado na Figura 21:

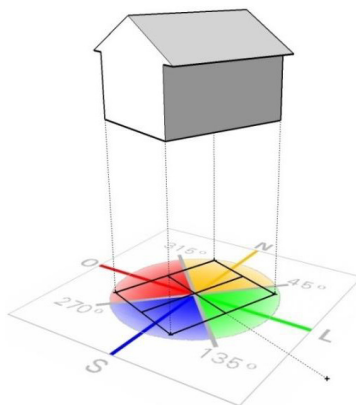
- Para a orientação geográfica Norte: de 0 a 45° e de 315,1° a 360°;
- Para a orientação geográfica Leste: de 45,1° a 135°;
- Para a orientação geográfica Sul: de 135,1° a 225°;
- Para a orientação geográfica Oeste: de 225,1° a 315°.

Figura 20 – Quadrantes para a definição da orientação da fachada segundo o RTQ-C



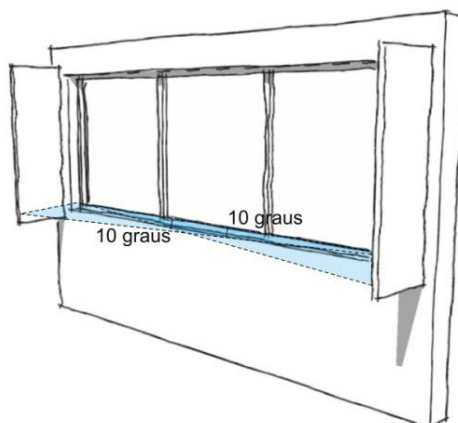
Fonte: BRASIL, 2009a, p. 34

Figura 21 - Sobreposição da edificação sobre a rosa dos ventos para determinar a orientação de fachada

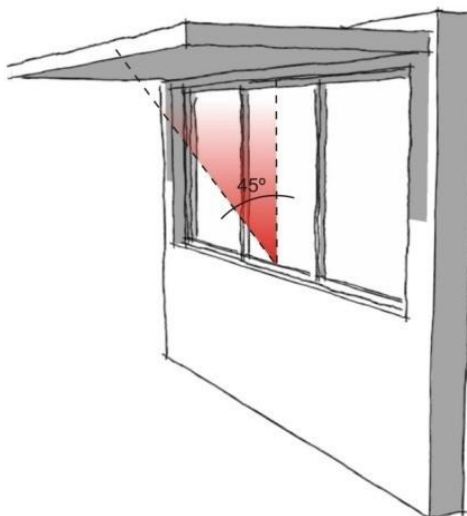


Fonte: BRASIL, 2009a, p. 34

No procedimento de avaliação da envoltória o sombreamento das aberturas determinado pelos ângulos horizontais (AHS) e verticais (AVS) é outra variável que influenciará no desempenho. Esses ângulos são medidos entre os planos das folhas de vidro e a aresta mais distante pertencente à proteção solar. O AHS (Figura 22) refere-se aos elementos de proteção solar verticais nas aberturas, formados no plano horizontal (identificados em planta baixa). O AVS (Figura 23) refere-se aos elementos de proteção solar horizontais nas aberturas, formados no plano vertical (identificados em corte). O ângulo final é resultado da média ponderada dos ângulos de sombreamento em função da área de abertura sombreada, porém, o regulamento considera 45° como o ângulo máximo a ser utilizado.

Figura 22 - Ângulo horizontal de sombreamento de 10°

Fonte: BRASIL, 2009a, p. 19.

Figura 23 - Ângulo vertical de sombreamento de 45°

Fonte: BRASIL, 2009a, p. 19

De acordo com o regulamento “a envoltória deve atender aos pré-requisitos específicos para cada nível de eficiência pretendido, quanto mais elevado o nível pretendido mais restritivos são os pré-requisitos a serem atendidos” (BRASIL, 2009a). A Tabela 10 relaciona o nível de eficiência pretendido com os pré-requisitos que deverão ser atendidos.

Tabela 10 - Relação entre os pré-requisitos para envoltória e o nível de eficiência

Nível de Eficiência	Transmitância Térmica da cobertura e paredes exteriores	Cores e Absortância de superfícies	Iluminação Zenital
A	X	X	X
B	X	X	X
C e D	X		

Fonte: BRASIL, 2009a, p. 71

A transmitância térmica (U) possui valores limites para coberturas (U_{cob}) de ambientes condicionados artificialmente, e também limites para transmitância de paredes opacas que delimitam o interior do exterior da edificação (U_{par}), ambas estão em função da zona

bioclimática em que está inserida a edificação. Considera para verificação de atendimento do pré-requisito a média ponderada das transmitâncias de cada parcela de parede externa ou cobertura pelas áreas que cada uma ocupa.

- a) Para cobertura de ambientes localizados em zona bioclimática 8 (Zona bioclimática onde está inserida a edificação em estudo) os limites são: 1,00 W/m²K, para ambientes condicionados artificialmente, e 2,00 W/m²K para ambientes não condicionados;
- b) Para paredes externas de edifícios inseridos na zona bioclimática 8 os limites são: 2,5 W/m²k, para paredes com capacidade térmica máxima de 80 kJ/m²K, e 3,7 W/m²K para paredes com capacidade térmica superior a 80 kJ/m²K.

O limite estabelecido pelo RTQ-C quanto a cores e absorvância a radiação solar de superfície para edificações inseridas na zona bioclimática 8 é de coeficiente de absorção (α) inferior a 0,5 (relativo a cores claras e médias) para paredes e coberturas, com exceção para coberturas de teto-jardim ou de telhas cerâmicas não esmaltadas. Estas coberturas apresentam bom desempenho térmico independentemente do valor da absorvância solar. Quanto a este dado, o RTQ-C recomenda que seja melhor obter a especificação da absorvância solar diretamente com o fabricante do material (fabricante de tintas e de telhas), ou obter esta informação através de medições previamente realizadas, o que muitas vezes pode encarecer o processo. Na norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005b) há alguns valores de absorvância solar de onda curta que podem ser utilizados como referência para a determinação do “ α ”. A verificação deste pré-requisito é a média ponderada de cada parcela de fachada ou cobertura pela área que ocupam.

O último pré-requisito que deverá ser atendido para a classificação máxima do nível de eficiência da edificação é o de iluminação zenital. O percentual de abertura zenital (P_{AZ}) e o fator solar (FS) de vidros devem atender a valores limites estabelecidos pelo RTQ-C, conforme a Tabela 11:

Tabela 11 - Limites de fator solar de vidros e de percentual de abertura zenital para coberturas

P_{AZ}	0 a 2%	2,1 a 3%	3,1 a 4%	4,1 a 5%
FS	0,87	0,67	0,52	0,30

Fonte: BRASIL, 2009a, p. 74

Para edificações com P_{AZ} maior do que 5% a classificação “A” só poderá ser obtida através de simulação computacional. O RTQ-C considera como aberturas zenitais somente superfícies com inclinação inferior a 60°, acima disto, a abertura poderá ser contabilizada para o PAFt.

2.5.1.2. Sistema de Iluminação Artificial

O regulamento técnico propõe dois métodos para a determinação do nível de eficiência do sistema de iluminação artificial, ambos considerando os limites de potência instalada e o atendimento a pré-requisitos específicos. O primeiro método é denominado de “método das áreas do edifício”, aplica-se para edifícios com até três atividades principais, ou para atividades que ocupem mais de 30% da área do edifício. Baseia-se na comparação entre a densidade de potência instalada (DPI) e a densidade de potência limite (DPI_L) com valores predeterminados pelo RTQ-C de acordo com a atividade principal desempenhada no edifício. A DPI_L é então multiplicada pela área iluminada, a fim de se obter a potência limite para cada nível de eficiência. Comparando-se o DPI com os DPI_L 's encontrados obtêm-se a classificação do sistema de iluminação artificial.

O segundo método denominado “método das atividades do edifício” é aplicado nos casos em que o método das áreas não pode ser aplicado. Este método avalia separadamente cada ambiente, calculando a DPI e comparando com a DPI_L predeterminada para cada atividade do edifício. O somatório das DPI_L dos ambientes para cada nível de eficiência determinará a potência limite do edifício, a qual é comparada com os valores de potência instalados no edifício, determinando assim a classificação geral do sistema. O RTQ-C ressalta que a determinação da DPI deve levar em consideração os valores do conjunto lâmpada e reator.

O RTQ-C apresenta como opção um aumento em 20% na densidade de potência de iluminação limite (DPIL) para ambientes com um índice de ambiente (K) (Equação 7) menor que o definido nas tabelas do “método das atividades do edifício”, ou Room Cavity Ratio (RCR) (Equação 8), maior que o definido nas mesmas tabelas.

(Equação 7)

$$K = \frac{A_t + A_{pt}}{A_p}$$

Onde:

K: índice do ambiente (adimensional);

A_t: Área de teto (m²);

A_{pt}: Área do plano de trabalho (m²);

A_p: Área de parede entre o plano iluminante e o plano de trabalho (m²).

(Equação 8)

$$RCR = \frac{2,5 \cdot Hp \cdot P}{A}$$

Onde:

RCR: Room Cavity Ratio (adimensional);

Hp: Altura da parede, considerar a altura entre o plano iluminante e o plano de trabalho (m²);

P: Perímetro do ambiente (m²);

A: Área do ambiente (m²).

De acordo com o nível de eficiência pretendido, o edifício deve atender aos pré-requisitos específicos para o sistema de iluminação, conforme é mostrado na Tabela 12.

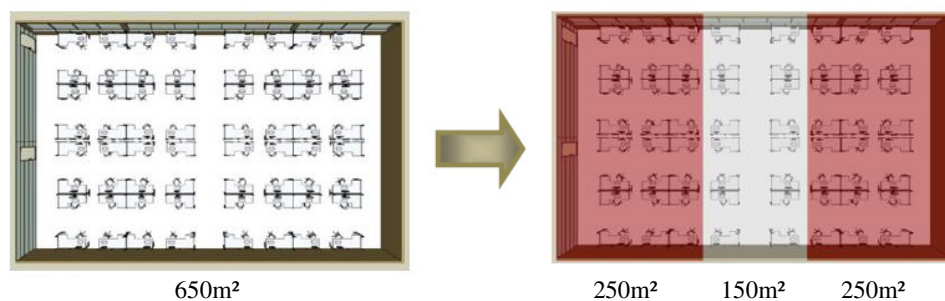
Tabela 12 - Relação de pré-requisitos e níveis de eficiência do sistema de iluminação artificial

Pré-requisito	Nível A	Nível B	Nível C
Divisão dos Circuitos	Sim	Sim	Sim
Contribuição da Luz Natural	Sim	Sim	
Desligamento Automático do sistema de iluminação	Sim		

Fonte: BRASIL, 2009a, p. 99

A divisão dos circuitos considera que cada ambiente deve ter pelo menos um dispositivo de controle manual que permita o acionamento independente da iluminação interna do ambiente, com facilidade e que permita visão clara de todo o ambiente. Para ambiente com área acima de 250 m², permite que se faça uma divisão dos circuitos em parcelas menores, com no máximo 250 m², com controle independente cada, afim de setorizar para momentos em que tenham poucos usuários (Figura 24). Se o ambiente possuir área maior que 1000 m², a divisão pode ser em parcelas com área máxima de 1000 m².

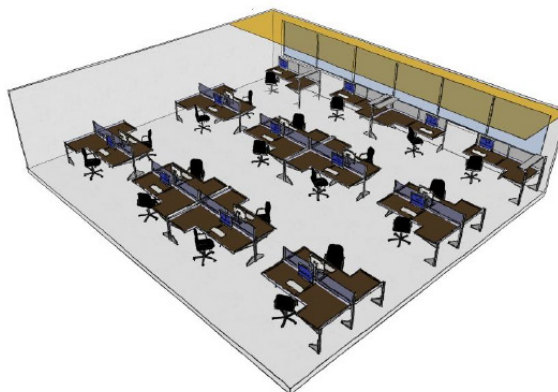
Figura 24 - Exemplo de divisão dos circuitos para o controle setorizado



Fonte: BRASIL, 2009a, p. 100

O pré-requisito de contribuição da luz natural determina que as luminárias localizadas próximas às janelas possuam dispositivo de desligamento independente do restante do sistema, a fim de reduzir a necessidade de uso da iluminação artificial (Figura 25).

Figura 25 - Exemplo de área próxima às janelas com controle independente



Fonte: BRASIL, 2009a, p. 101

O último pré-requisito refere-se ao sistema de iluminação interna dos ambientes com área superior a 250m², que deverá apresentar dispositivo de controle automático para desligamento da iluminação para evitar que ambientes desocupados permaneçam com iluminação artificial ativada. As opções de funcionamento deste sistema podem ser:

- O desligamento em horário pré-determinado;
- Sensor de presença com desligamento do sistema, depois de trinta minutos da saída de todos os ocupantes do ambiente;
- Sinalização de outro controle ou sistema de alarme, sinalizando a ausência de ocupantes.

2.5.1.3. Sistema de Condicionamento de Ar

A determinação da eficiência do sistema de ar condicionado é obtida através da verificação da eficiência de cada aparelho, que deve ser conhecida por duas avaliações, a primeira pelo INMETRO e a segunda através das tabelas da ASHRAE apresentadas no regulamento. O resultado final são as eficiências dos aparelhos ponderados pelas áreas dos ambientes condicionados pelo mesmo. O sistema de condicionamento de ar poderá ser classificado como nível “A” se os pré-requisitos específicos forem atendidos: proteção das unidades condensadoras, isolamento térmico para dutos de ar e especificidades quanto ao condicionamento de ar por aquecimento artificial.

As unidades condensadoras, de cada equipamento separadamente, dos sistemas condicionadores de ar, devem estar sombreadas permanentemente e com ventilação adequada para não interferir em sua eficiência. Os dutos de ar devem apresentar isolamento térmico com espessuras mínimas para isolamento de tubulações. Na Tabela 13 estão os parâmetros

que devem ser adotados para os sistemas de aquecimento e na Tabela 14 para os de refrigeração, respectivamente. No caso de condicionamento de ar por aquecimento artificial devem atender aos indicadores mínimos de eficiência energética apresentados pelo regulamento de acordo com sistema de aquecimento: bombas de calor, sistemas unitários de condicionamento de ar com ciclo reverso e caldeiras a gás.

Tabela 13 – Espessuras mínimas de isolamento de tubulações para sistema de aquecimento

Faixa de Temperatura do Fluido (°C)	Condutividade do Isolamento		Comprimento da tubulação (cm)				
	Condutividade térmica (W/m.K)	Faixa Temperatura (°C)	< 63,5	< 63,5 a 100	100 a 250	250 a 500	≥ 500
T ≥ 177	0,046 a 0,049	121	6,4	7,6	7,6	10,2	10,2
122 < T < 177	0,042 a 0,046	93	3,8	6,4	7,6	7,6	7,6
94 < T < 121	0,039 a 0,043	66	3,8	3,8	5,1	5,1	5,1
61 < T < 93	0,036 a 0,042	52	2,5	2,5	2,5	3,8	3,8
41 < T < 60	0,032 a 0,040	38	1	1	2,5	2,5	2,5

Fonte: BRASIL, 2009a, p. 115

Tabela 14 – Espessura mínima de isolamento de tubulações para sistema de refrigeração

Faixa de Temperatura do Fluido (°C)	Condutividade do Isolamento		Comprimento da tubulação (cm)				
	Condutividade térmica (W/m.K)	Faixa Temperatura (°C)	< 63,5	< 63,5 a 100	100 a 250	250 a 500	≥ 500
4 < T < 16	0,032 a 0,040	38	1,3	1,3	2,5	2,5	2,5
T < 4	0,032 a 0,040	38	1,3	2,5	2,5	2,5	2,5

Fonte: BRASIL, 2009a, p. 116

2.5.2. Metodologia da Simulação

O método de simulação, proposto pelo RTQ-C, é recomendado para a avaliação termo-energética tanto de edifícios condicionados artificialmente quanto para aqueles que são ventilados naturalmente. Ele é usado para comprovar que, em certos casos, a utilização de parâmetros diferentes dos determinados pelo RTQ-C geram uma maior economia de energia, mantendo o conforto do ambiente (BRASIL, 2009a). É importante observar que as metodologias de avaliação termo-energética propostas pelo regulamento não são independentes entre si, pois o método prescritivo faz uso da metodologia de simulação para a determinação do Equivalente Numérico de Ventilação Natural (Eq_{NumV}) em ambientes de permanência prolongada e que não sejam condicionados artificialmente, comprovando que este ambiente interno proporciona temperaturas dentro da zona de conforto térmico durante um percentual de horas de ocupação, relacionando com a classificação de eficiência deste requisito, conforme mostrado pela Tabela 15. Para os edifícios que somente são ventilados naturalmente ou que possuam áreas de longa permanência sem condicionamento artificial, esta comprovação é obrigatória.

Tabela 15 - Equivalente Numérico para Ventilação Natural

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

Fonte: BRASIL, 2009a, p. 160

A avaliação pelo método da simulação consiste basicamente em comparar o desempenho energético de um modelo do edifício a ser avaliado (podendo ser um edifício real ou proposto) com um dos quatro modelos de referência, um para cada nível de classificação, todos similares ao edifício em avaliação. O método prescritivo é utilizado para estabelecer alguns parâmetros para definição do nível de eficiência dos modelos de referência para posterior comparação. Depois de estabelecidas as características do modelo real e os de referência, eles deverão ser simulados pelo mesmo programa de simulação utilizando o mesmo arquivo climático. O resultado deve constatar que o modelo real possui um consumo energético igual ou inferior ao do edifício de referência com o nível pretendido.

Tal como no método prescritivo, as avaliações podem ser feitas para a obtenção da etiqueta geral ou da etiqueta parcial. Para as classificações visando as etiquetas parciais o modelo real deve ser modelado seguindo parâmetros pré-definidos pelo RTQ-C de acordo com a etiqueta pretendida. A Tabela 16 mostra que características devem ser adotadas para a avaliação geral e para as avaliações parciais.

Tabela 16– Síntese dos sistemas necessários para o modelo real para as etiquetas geral e parciais

Etiqueta	Modelo Real		
	Envoltória	Iluminação	Condicionamento de ar
ENCE Geral	Características do Ed. Proposto	Características do Ed. Proposto	Características do Ed. Proposto
ENCE Parcial - Envoltória	Características do Ed. Proposto	Igual ao modelo de referência	Atender as tabelas 6.1, 6.2 e 6.3 do RTQ-C. Utilizar COP ¹⁷ igual ao modelo de referência
ENCE Parcial – Envoltória e Sistema de Iluminação	Características do Ed. Proposto	Características do Ed. Proposto	Atender as tabelas 6.1, 6.2 e 6.3 do RTQ-C. Utilizar COP igual ao modelo de referência
ENCE Parcial – Envoltória e Sistema de Condicionamento de Ar	Características do Ed. Proposto	Igual ao modelo de referência	Características do Ed. Proposto

Fonte: BRASIL, 2009a, p. 151

¹⁷ COP – Coeficiente de Performance

A comparação entre os dois modelos, o real e o de referência, é possível desde que eles possuam algumas características iguais e que possibilitem a avaliação dos sistemas em questão. Portanto, ambos os modelos devem ser simulados usando:

- O mesmo programa de simulação;
- O mesmo arquivo climático;
- A mesma geometria;
- Mesma orientação em relação ao norte geográfico;
- Mesmo padrão de uso e operação dos sistemas;
- Mesmo valor de Densidade de Carga Interna (DCI);
- Mesmo padrão de ocupação, com o mesmo valor de calor dissipado;
- Mesmo tipo de sistema de condicionamento de ar. Entretanto, para o modelo de referência utilizar o COP estabelecido pelo método prescritivo, de acordo com o nível de eficiência pretendido;
- Mesmo *setpoint* de resfriamento ou aquecimento.

As peculiaridades que cada modelo, real e de referência, devem conter encontram-se resumidas na Tabela 17 a seguir:

Tabela 17– Especificidades que devem ser consideradas na modelagem do edifício real e de referência

Característica do Edifício	Modelo de Referência	Modelo Real
Geometria - Dimensões	Igual ao edifício proposto	Igual ao edifício proposto
Orientação	Igual ao edifício proposto	Igual ao edifício proposto
Carga Interna (DCI)	Igual ao edifício proposto	Igual ao edifício proposto
Padrão de uso: Equipamentos e Pessoas	Igual ao edifício proposto	Igual ao edifício proposto
Sistemas de condicionamento de Ar	Igual ao edifício proposto com COP mín. do nível desejado	Igual ao edifício proposto
Envoltória P_{AZ} PAFt AVS e AHS Tipo de Vidro Fator Solar Transmitância Térmica Absortância Solar	Se Existe no real → $P_{AZ} = 2\%$ Calcular através do IC AVS = AHS = 0 Vidro Simples, 3mm FS = 0,87 Max. p/ Eficiência desejada Max. p/ Eficiência desejada	Igual ao edifício proposto
Sistema de Iluminação	DPI máx. p/ Eficiência desejada – Tabela 4.1 ou 4.2 do RTQ-C	Igual ao edifício proposto

Fonte: BRASIL, 2009a, p. 156

O programa computacional usado para fazer as simulações termo-energéticas deve possuir os seguintes pré-requisitos mínimos:

- Ser um programa de análise de consumo de energia em edifícios;

- Ser validado pela ASHRAE Standard 140;
- Modelar 8760 horas por ano;
- Modelar variações horárias de ocupação, potência de iluminação e equipamentos e sistemas de ar condicionado, definidos separadamente para cada dia da semana e feriados;
- Modelar efeitos de inércia térmica;
- Permitir a modelagem de multi-zonas térmicas;
- Ter a capacidade de simular as estratégias bioclimáticas adotadas no projeto;
- Caso o edifício proposto utilize sistemas de condicionamento de ar, o programa deve permitir modelar todos os sistemas de condicionamento de ar listados no Apêndice G da ASHRAE 90.1;
- Determinar a capacidade solicitada pelo Sistema de Condicionamento de Ar;
- Produzir relatórios horários do uso final de energia.

O arquivo climático utilizado pelo programa para fazer as simulações também deve atender os seguintes pré-requisitos estabelecidos pelo RTQ-C:

- Fornecer valores horários para todos os parâmetros relevantes requeridos pelo programa de simulação, tais como temperaturas e umidade, direção e velocidade dos ventos e radiação solar;
- Os dados climáticos devem ser representativos da Zona Bioclimática onde o projeto proposto será locado e, caso o local do projeto não possua arquivo climático, deve-se utilizar dados climáticos de uma região próxima que possua características climáticas semelhantes;
- Devem ser utilizados arquivos climáticos e formatos publicados no www.eere.energy.gov (TRY, TMY, SWEC, CTZ2...). Caso contrário o arquivo climático deve ser aprovado pelo laboratório de referência.

A obtenção da ENCE geral para edifícios condicionados avaliados completamente pelo método da simulação é obtida através do Equivalente Numérico de Simulação (EqNumS) somado ao ponto de bonificação, quando este não estiver presente na simulação. O cálculo do EqNumS baseia-se na interpolação linear entre os consumos calculados nos modelos de

referência que definem a classificação da etiqueta. Logo, através da (Equação 9) obtém-se a pontuação geral que corresponderá a classificação do nível de eficiência.

(Equação 9)

$$PT = EqNumS + b \frac{1}{0}$$

Onde:

EqNumS: Equivalente numérico obtido através da Simulação;

b: Pontuação obtida pelas bonificações, que varia de 0 a 1.

De acordo com o RTQ-C, os edifícios que forem atendidos por ventilação natural e condicionamento de ar, devem ter o EqNumV maior ou igual ao EqNumS. Se esta condição não for atendida a classificação final será dada pelo EqNumV.

2.5.3. Bonificações

A equação geral de classificação considera até um ponto extra, atribuído a título de bonificação, por iniciativas que comprovadamente¹⁸ aumentem o nível de eficiência energética da edificação. A pontuação de bonificação pode variar de 0 a 1 e visa incentivar o uso de soluções mais eficientes, tais como:

- O uso de equipamentos e sistemas que racionalizam o uso de água (torneiras com arejadores e/ou temporizadores, sanitários com sensores, aproveitamento de água pluvial, etc) e que proporcionem uma economia de até 40% no consumo anual¹⁹ de água, considerando práticas correntes de dimensionamento;
- Sistemas ou fontes renováveis de energia, como por exemplo o uso de painéis fotovoltaicos ou energia eólica para o aquecimento de água e economia de energia do edifício;
- Sistemas de cogeração e inovações técnicas ou de sistemas, tais como iluminação natural, que comprovadamente aumentem a eficiência energética da edificação proporcionando uma economia mínima de 30% do consumo anual de energia elétrica.

¹⁸ A comprovação pode ser feita através de memoriais de cálculo solicitado ao construtor.

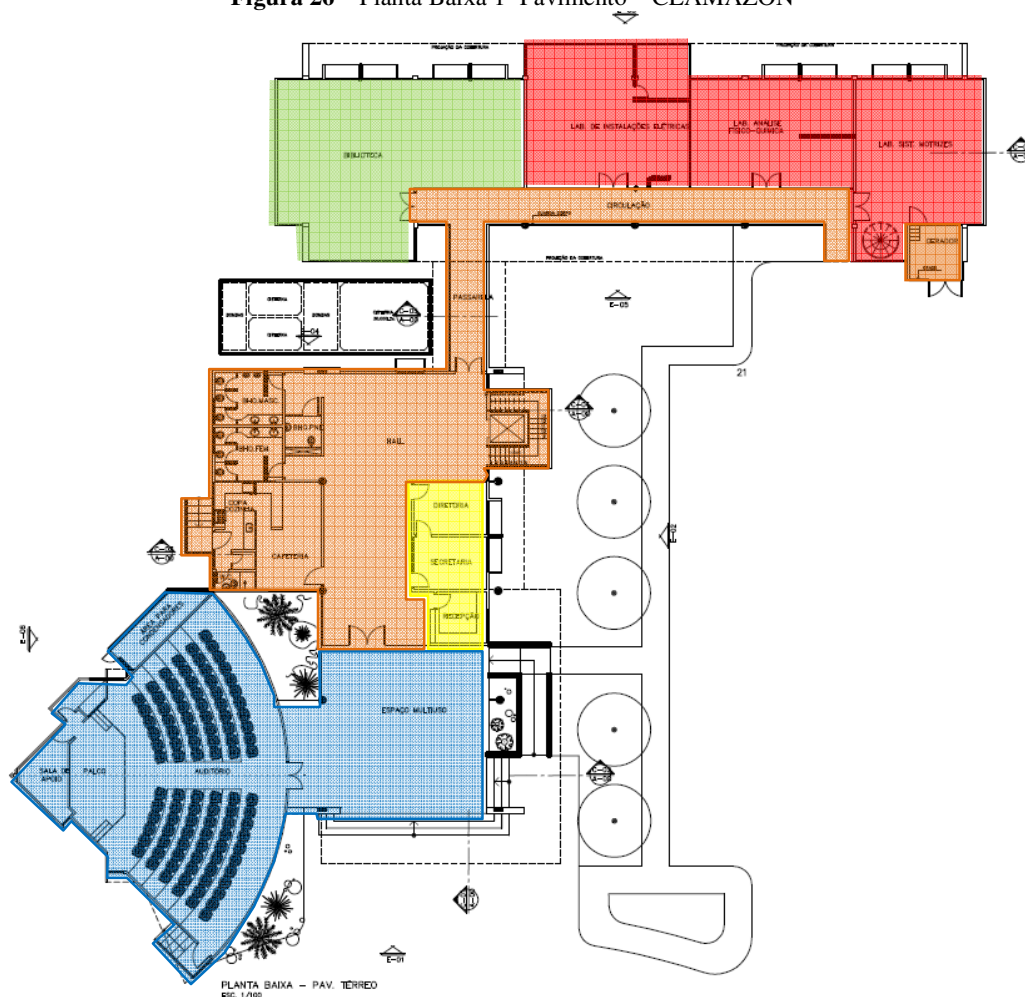
¹⁹ A comprovação de consumo deve ser realizada considerando taxa de consumo por usuário de acordo com metodologias usuais, como por exemplo o código de obras municipal.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. EDIFICAÇÃO ANALISADA

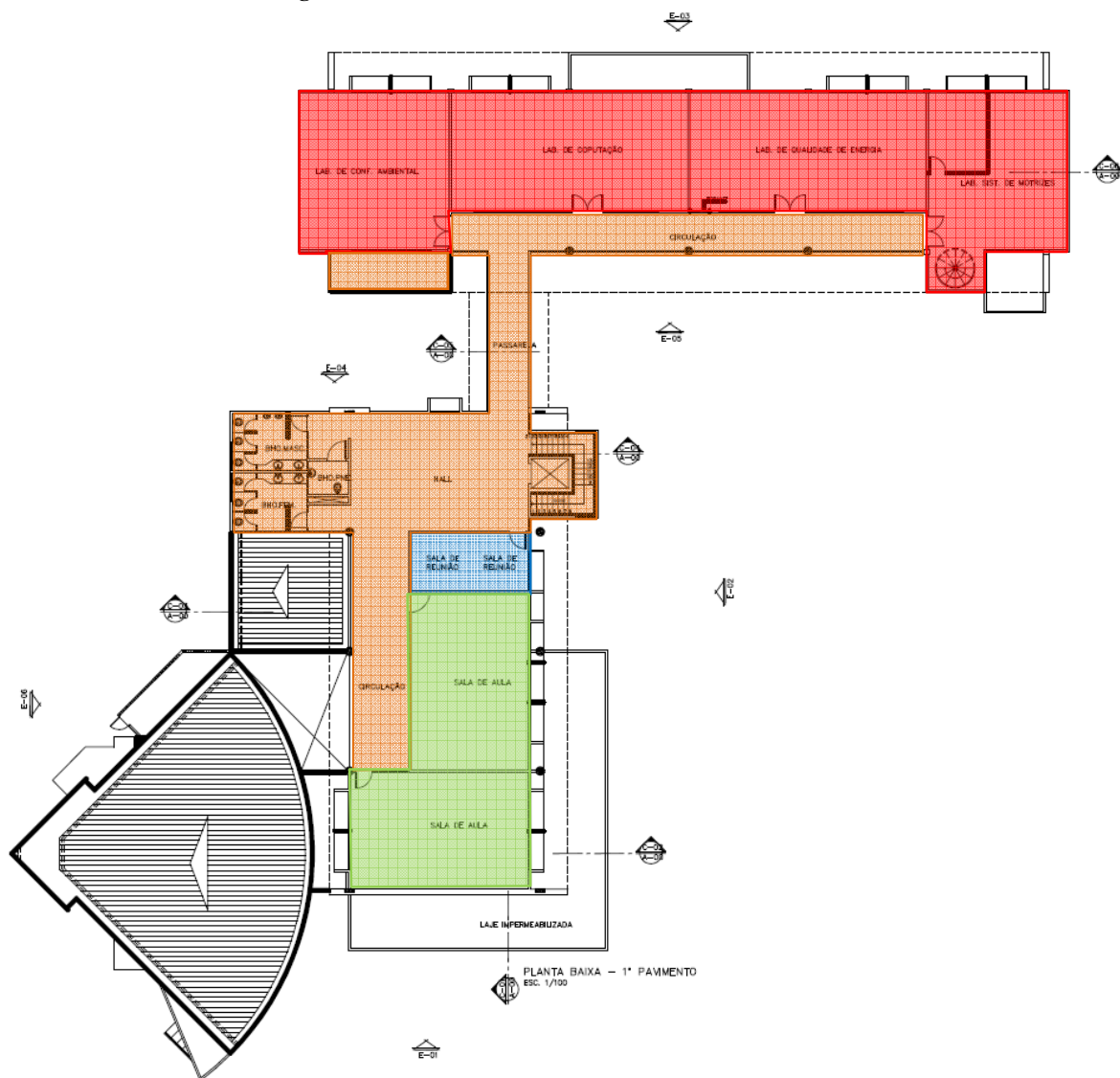
O objeto de estudo escolhido para aplicação e análise do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos - RTQ-C - foi o Centro de Excelência em Eficiência Energética da Amazônia - CEAMAZON. Este Centro de Pesquisas é fruto de uma parceria entre a Universidade Federal do Pará, a Eletrobrás e o Governo do Estado do Pará, criado para fomentar o desenvolvimento regional buscando o aprimoramento da eficiência energética por meio de desenvolvimento tecnológico e criando subsídios para a regulamentação do mercado de eficiência energética na região norte. O edifício, que foi inaugurado em 2010, possui três pavimentos e abriga os setores educacional, produção científica (laboratórios), uso comum, administrativo, transitório e apoio, conforme está sinalizado na Figura 26, Figura 27, Figura 28 e referenciados na Tabela 18.

Figura 26 – Planta Baixa 1º Pavimento – CEAMAZON



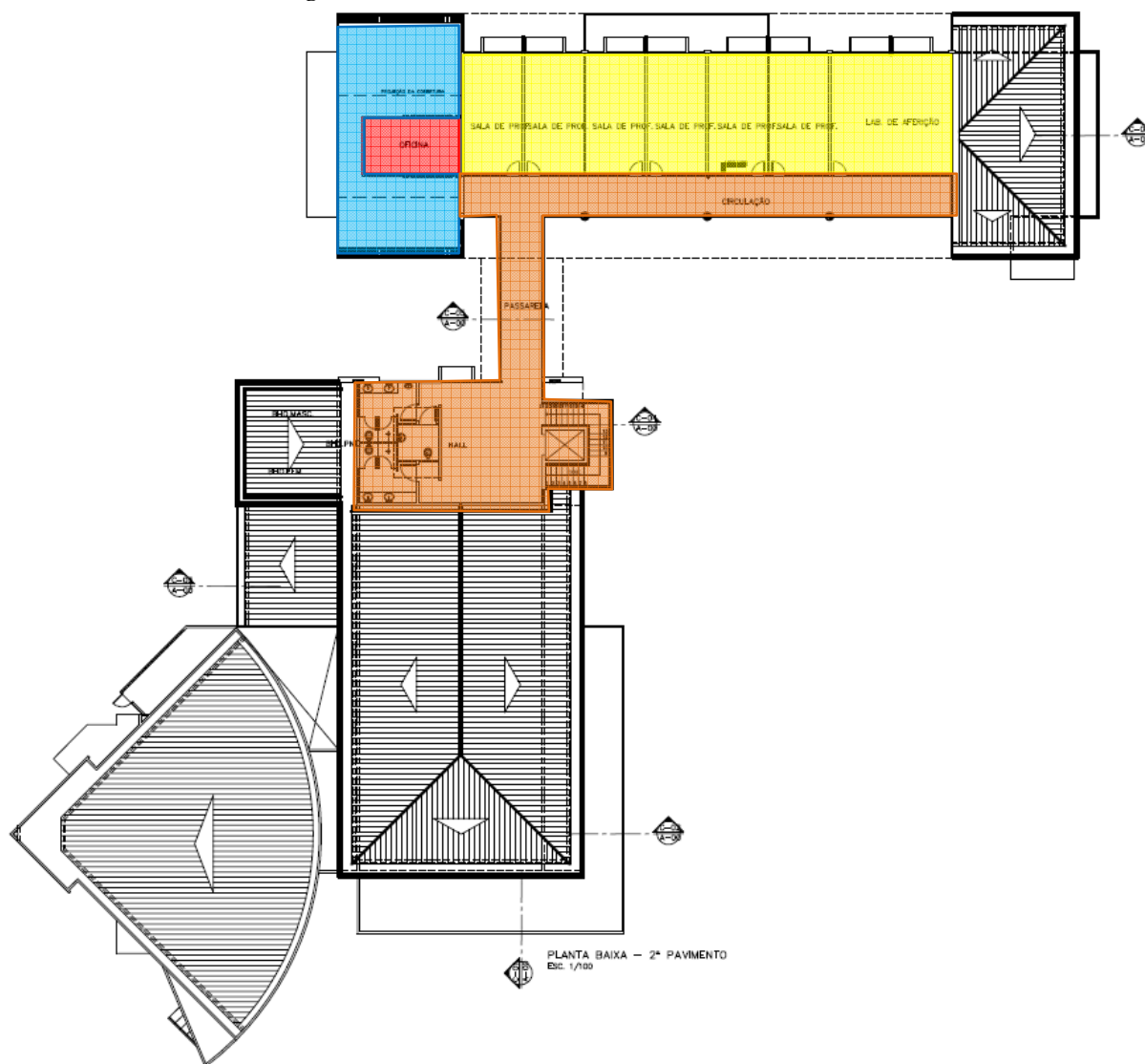
Fonte: Acervo UFPA

Figura 27 – Planta Baixa 2º Pavimento - CEAMAZON



Fonte: Acervo UFPA

Figura 28 – Planta Baixa 3º Pavimento CEAMAZON



Fonte: Acervo UFPA

Tabela 18– Legenda da setorização do CEAMAZON

Legenda:

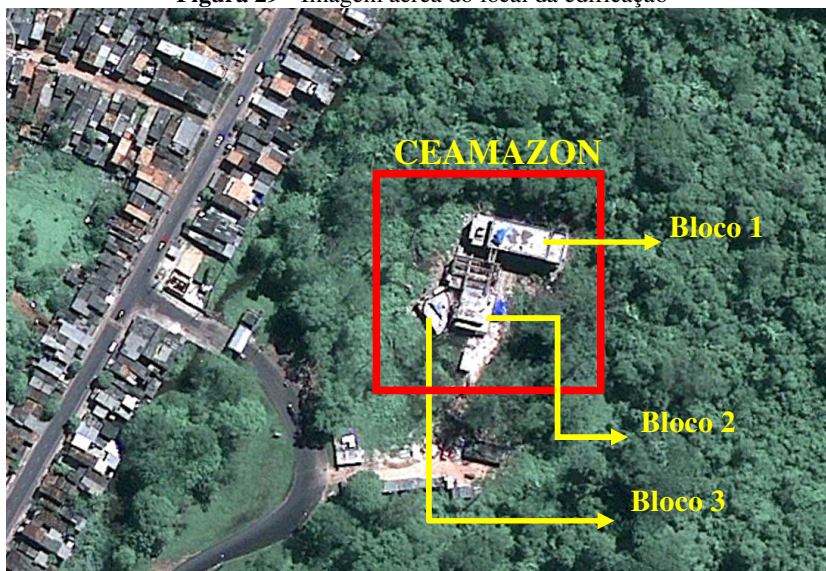
	Uso Comum
	Educacional
	Produção Científica (Laboratórios)
	Administrativo
	Transitório e apoio

Fonte: OLIVEIRA, Bruno

O partido arquitetônico adotado é basicamente formado por três blocos, conforme mostra a Figura 29, onde os blocos 1 e 2 possuem formas retangulares e o bloco 3, onde está localizado o auditório, possui forma de “leque”. Os blocos estão organizados obedecendo a uma tipologia em “L” e ligados entre si por uma passarela, situação esta favorável para a permeabilidade da ventilação natural cruzada e para o aproveitamento da iluminação natural. A edificação está localizada no Parque de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal do

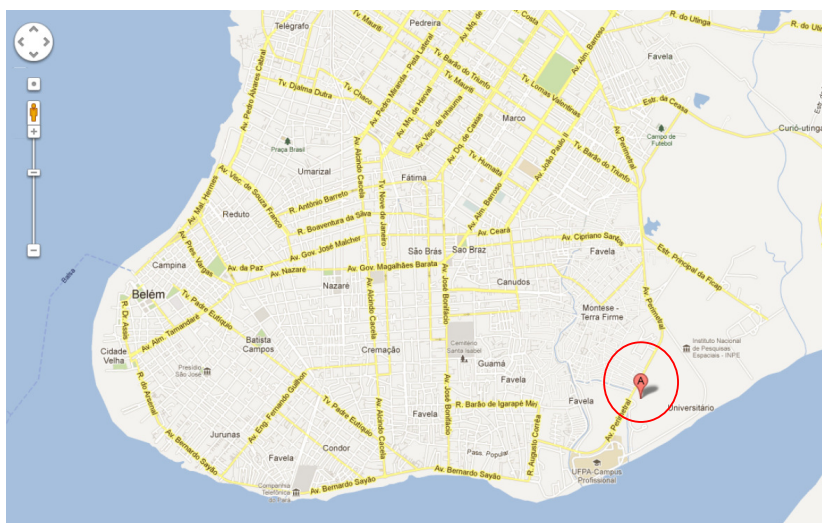
Pará, na cidade de Belém, com latitude 01°23', longitude 48°29' e altitude 16m (Figura 30) (GOULART, LAMBERTS, & FIRMINO, 1998).

Figura 29 - Imagem aérea do local da edificação



Fonte: (Adaptado Google Earth, 2010)

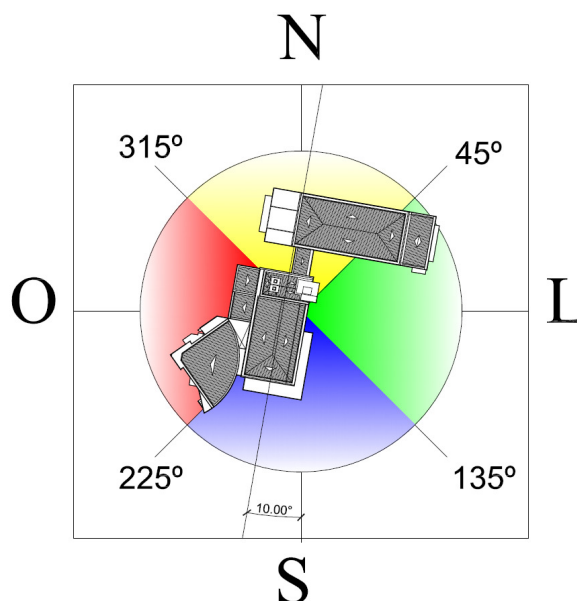
Figura 30 – Localização do CEAMAZON (Item A)



Fonte: Google Maps, 2012

A edificação está orientada com seu eixo longitudinal no sentido Norte-Sul, com o deslocamento de 10° no sentido horário. A Figura 31 mostra a sobreposição da edificação sobre a rosa dos ventos para a determinação das fachadas conforme os quadrantes estabelecidos pelo RTQ-C, onde se observa que a fachada frontal está orientada para o sul, a fachada lateral esquerda está orientada para o leste, a fachada posterior está orientada para o norte e por fim, a fachada lateral direita está orientada para o oeste.

Figura 31 – Sobreposição do CEAMAZON sobre a rosa dos ventos para a orientação das fachadas



Fonte: OLIVEIRA, Bruno

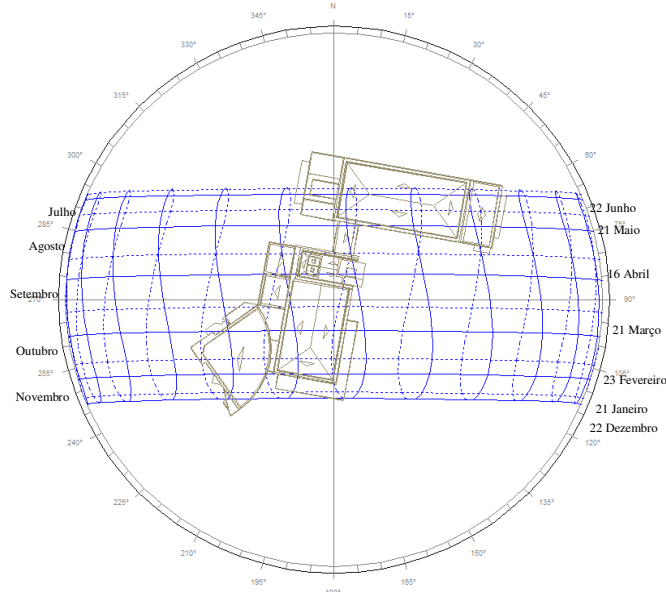
A área de entorno é ampla e livre de elementos que possam gerar sombras na edificação (Figura 32), estando a mesma exposta à insolação durante todo o ano. A Figura 33, mostra a sobreposição da edificação no diagrama eqüidistante da trajetória e altura aparente do sol para a posição geográfica da cidade de Belém, onde se verifica que as fachadas norte e sul recebem insolação somente em um curto período do ano, durante o mês de dezembro na fachada sul e no final do mês de junho na fachada norte. As fachadas leste e oeste, no entanto, recebem insolação direta ao longo do ano inteiro. A fachada leste recebe toda a insolação do período da manhã, sendo mais intenso entre os meses de fevereiro a abril, onde o sol incide diretamente desde às 7 horas até às 12 horas, aproximadamente. Quanto à fachada oeste, esta recebe toda a insolação do período vespertino, estando mais exposta durante os meses de julho a outubro, quando o sol começa a incidir nessa fachada a partir das 13 horas.

Figura 32 – Área de entorno da edificação



Fonte: OLIVEIRA, Bruno

Figura 33 – Sobreposição da Edificação no diagrama equidistante da trajetória e altitude aparente do sol para a cidade de Belém.



Fonte: Software Ecotect Analysis 2011

3.2. AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA CONFORME O RTQ-C

Para a avaliação do nível de eficiência energética através do método prescritivo, foram avaliados separadamente as eficiências da envoltória, do sistema de iluminação artificial e o sistema de condicionamento de ar. Nesta etapa foi necessário um minucioso levantamento de dados da edificação através de visitas *in loco* e análises dos projetos de arquitetura, projetos de instalações elétricas, de instalações hidro-sanitárias, do projeto de ar condicionado e de cadernos técnicos de especificações.

3.2.1. Avaliação da Envoltória

No processo de avaliação da eficiência da envoltória, foi necessário o seu levantamento quantitativo e a caracterização de seus elementos constituintes, para que os mesmos pudessem ser confrontados com os pré-requisitos específicos da envoltória, e assim, o seu nível de classificação determinado. Os pré-requisitos observados foram:

- A transmitância térmica da cobertura e das paredes, sendo os seus dados obtidos através dos valores tabelados contidos na NBR 15220-3 ou através da metodologia de cálculo contido na NBR 15220-2. O valor da transmitância utilizado na avaliação foi correspondente a média das diferentes transmitâncias de cada parcela das paredes e coberturas ponderados pela área que ocupam.

- As cores e absorvâncias das superfícies, também utilizando os dados já especificados na NBR 15220-2, sendo o valor de avaliação o resultado da média das absorvâncias de cada parcela da cobertura e parede ponderados pela área que ocupam.

De acordo com o RTQ-C, a avaliação da envoltória é baseada no cálculo de um indicador de consumo, tendo seu valor comparado a uma escala de classificação. Para o cálculo, utilizou-se a equação destinada a zona bioclimática 8 e edifícios com área de projeção superior a 500m², sendo necessária a determinação das seguintes variáveis:

- Fator de Altura (FA): obtido pela razão entre a área de projeção da edificação e a área de piso;
- Fator de Forma (FF): obtido pela razão entre a área da envoltória e o volume da edificação;
- Percentual de Abertura da Fachada (PAFt): calculado pela razão da soma das áreas de abertura em paredes verticais de cada fachada pela área total da fachada da edificação;
- Ângulos de Sombreamento: foram medidos todos os ângulos formados entre dois planos de forma a sombrear uma abertura. Através das plantas baixas foram medidos os ângulos horizontais de sombreamento e através dos desenhos de corte foram medidos os ângulos verticais de sombreamento. Os ângulos utilizados no cálculo do indicador de consumo são o resultado da ponderação do ângulo em função da área das aberturas.

3.2.2. Avaliação do Sistema de Iluminação Artificial

Para a avaliação do sistema de iluminação artificial também foi necessário um levantamento quantitativo das luminárias e lâmpadas, bem como do tipo e potência instalada de cada uma delas. O levantamento foi realizado através de visitas *in loco* e através do projeto de instalações elétricas, o que possibilitou a verificação do cumprimento dos pré-requisitos para este sistema.

A avaliação do nível de eficiência energética do sistema de iluminação artificial foi determinada através do método das atividades, haja vista que na edificação objeto do estudo existem ambientes que desempenham distintas atividades e através deste método pode-se analisar os ambientes separadamente. Portanto, a avaliação foi precedida das seguintes etapas:

- Identificação das atividades desempenhadas em cada um dos ambientes avaliados;

- Levantamento da área e da densidade de potência instalada (DPI – W/m²) em cada um dos ambientes e comparação com a densidade de potência limite (DPI_L – W/m²) estabelecida pelo RTQ-C;
- Determinação do nível de eficiência comparando a potência total instalada e a potência total limite.

Os dados levantados nas etapas supracitadas foram organizados em tabela para melhor compreensão e visualização.

3.2.3. Avaliação do Sistema de Condicionamento de Ar

A avaliação do sistema de condicionamento de ar baseou-se em análise do projeto de ar condicionado e em visitas *in loco* para verificar se os aparelhos já possuíam a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) e observar qual o nível de classificação de cada aparelho.

O levantamento gerou uma tabela mostrando cada aparelho, sua potência, a área do ambiente, o coeficiente de operação (COP), bem como o nível de classificação de eficiência energética. A partir desses dados foi possível ponderar a potência total instalada de ar condicionado pelo equivalente numérico de cada aparelho e o resultado foi somado para a obtenção do equivalente numérico total para o sistema de condicionamento de ar.

3.3. COLETA DE DADOS PARA AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO E LUMÍNICO DE DOIS AMBIENTES

A coleta de dados para análise do desempenho térmico e lumínico de ambientes internos de edificações objetiva viabilizar a adoção de parâmetros de verificação do potencial de conforto ambiental para seus usuários. No presente estudo, o parâmetro adotado foi a metodologia de avaliação de conforto térmico proposta por Fanger (apud LAMBERTS, 1997) e adotado pela norma ISO 7730 (1994), também conhecido como Voto Médio Preditado (PMV). Para o conforto lumínico estabeleceu-se como parâmetro a verificação dos níveis de iluminância e comparação com os níveis recomendados na NBR 5413.

O método consistiu na eleição de dois ambientes da edificação, que foram monitorados durante seis dias, iniciando às 10:00 horas do dia 09 de fevereiro de 2013, finalizando às 18:00 do dia 14 de fevereiro de 2013. Em ambos os ambientes as condições de medição foram com o sistema de condicionamento de ar e de iluminação artificial desligados, e com as esquadrias abertas, a fim de se registrar as velocidades de movimentação do ar e

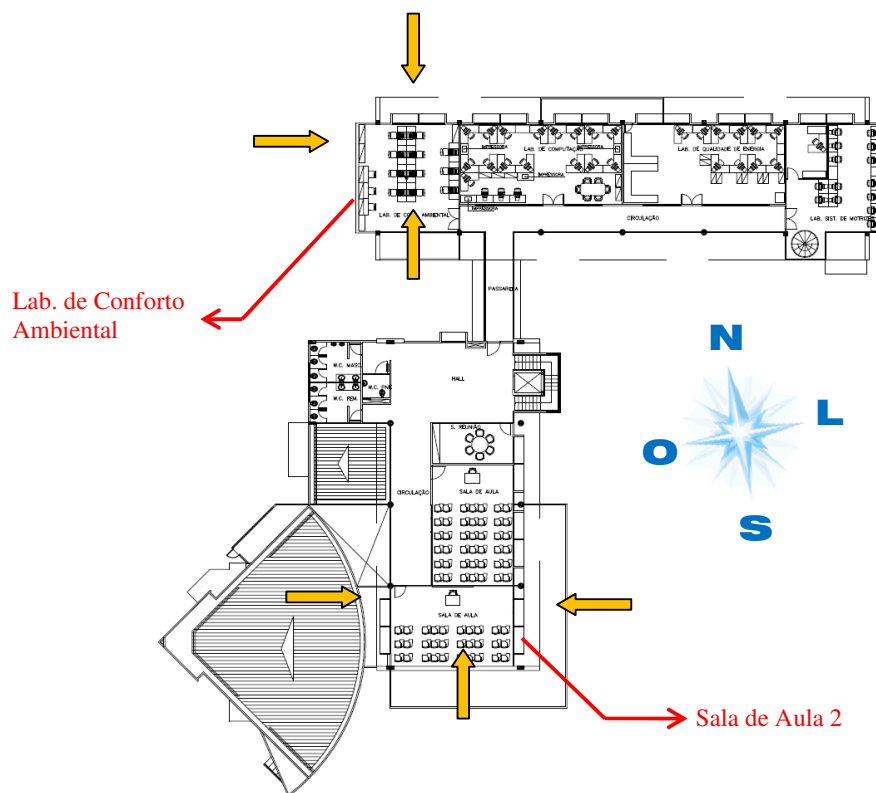
verificar o potencial de atendimento aos parâmetros de conforto térmico e lumínico, segundo a metodologia e norma supracitadas. Os instrumentos de medição foram configurados para fazer um registro a cada intervalo de 30 minutos, obtendo um total de 278 registros, nos quais haviam os seguintes dados:

- Iluminância: Limite da razão do fluxo luminoso recebido pela superfície em torno de um ponto considerado, pela área da superfície quando esta tende para o zero (unidade: Lux)²⁰;
- Temperatura do ar (T_a): Temperatura do ar ao redor do corpo humano (medida em °C);
- Temperatura radiante média (T_r): Temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual a transferência de calor por radiação do corpo humano é igual a transferência de calor por radiação em um ambiente real heterogêneo (não uniforme);
- Umidade relativa do ar (UR): montante real do vapor de água contido no ar em relação ao montante máximo de vapor de água que o ar pode conter a uma determinada temperatura;
- Velocidade do ar (V_{ar}): Velocidade do fluxo de movimentação do ar no ponto de medição considerado.

Os ambientes escolhidos para a realização do estudo foram o laboratório de conforto ambiental e a sala de aula 2, devido estes possuírem superfícies de suas envoltórias voltadas a diferentes orientações. O laboratório de conforto ambiental tem paredes voltadas para o norte, sul e para o oeste. A sala de aula 2, por sua vez, tem paredes voltadas para o leste, oeste e para o sul, podendo-se assim analisar se os dois ambientes possuem significativa diferença dada as suas distintas orientações, conforme mostra a Figura 34.

²⁰ Definição da NBR 5413.

Figura 34 – Ambientes selecionados para a realização das medições

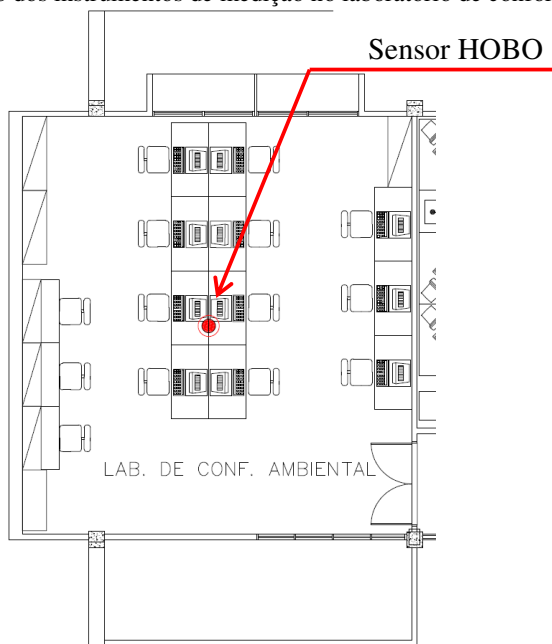


Fonte: OLIVEIRA, Bruno

Os instrumentos de medição foram instalados em um tripé no ponto central de cada ambiente avaliado (Figura 35 e

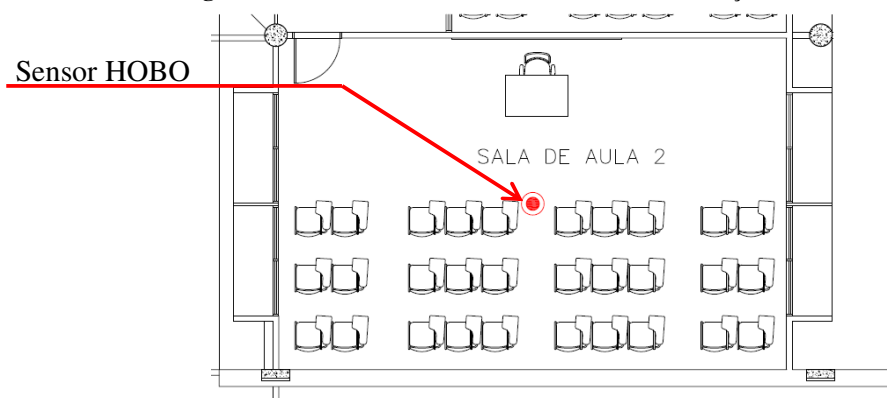
Figura 36). Para as medições de temperatura do ar, umidade relativa do ar e iluminância in loco foram utilizados termohigrômetros com luxímetros dataloggers da marca ONSET, modelo HO8-004-02 (Figura 37) posicionados a uma altura de aproximadamente 90 centímetros do piso. Para o registro da velocidade do ar foram utilizados dois tipos de instrumentos, um anemômetro digital de paletas da marca INSTRUTHERM, modelo TVAR-650, no laboratório de conforto ambiental (Figura 38); e um anemômetro digital de fio quente da marca INSTRUTHERM, modelo TAFR-180 (Figura 39), localizado na sala de aula 2. Como o fluxo de movimentação de ar no interior dos dois ambientes é muito baixo, a utilização de instrumentos distintos teve o objetivo de ampliar a resolução de medição e verificar os seus potenciais de registro frente às baixas velocidades de movimentação do ar.

Figura 35 – Localização dos instrumentos de medição no laboratório de conforto ambiental



Fonte: OLIVEIRA, Bruno

Figura 36 – Posicionamento dos instrumentos de medição na sala de aula 2



Fonte: OLIVEIRA, Bruno

Figura 37 – HOBO da marca Onset utilizado nas medições



Fonte: <http://www.microdaq.com/occ/h8/rhtemplightx.php> (Acesso em: 07/02/2013)

Figura 38 – Anemômetro digital de paletas utilizado no laboratório de conforto ambiental



Fonte: OLIVEIRA, Bruno.

Figura 39 – Anemômetro digital de fio quente utilizado na sala de aula 2

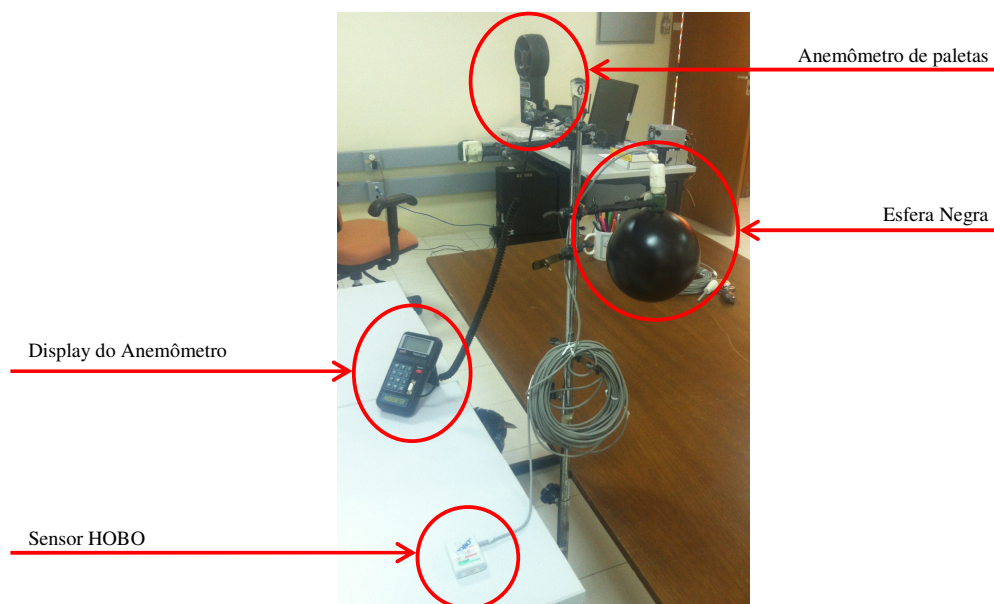


Fonte: OLIVEIRA, Bruno

A assimetria de cargas térmicas e de iluminâncias não foram investigadas, razão esta de se ter escolhido um único ponto central para a medição, esperando que as influências das diferentes superfícies do recinto sejam dissipadas permitindo o registro de valores médios no ponto central. Para o registro da temperatura de globo foi utilizado o mesmo *datalogger* com um sensor termopar fixado no interior de uma esfera negra de cobre com 15cm de diâmetro, a fim de se obter a temperatura radiante média, conforme mostra a Figura 40 e Figura 41.

Figura 40 – Equipamentos de medição instalados na sala de aula 2

Fonte: OLIVEIRA, Bruno

Figura 41 – Equipamentos de medição instalados no laboratório de conforto ambiental

Fonte: OLIVEIRA, Bruno

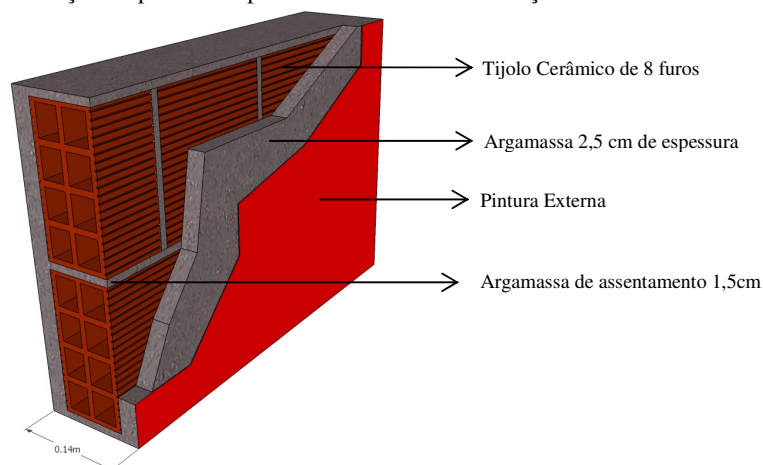
4. APRESENTAÇÃO E DISCUÇÃO DOS RESULTADOS

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

4.1.1. Envoltória

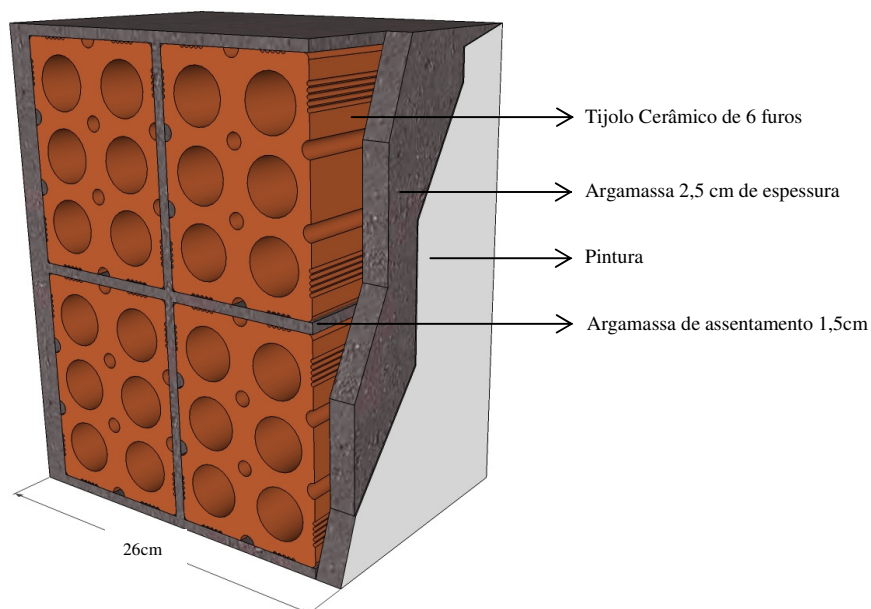
A envoltória da edificação é composta por sistema estrutural de laje, pilares e vigas confeccionados em concreto armado com acabamento externo feito em pintura acrílica na cor branca. O sistema de vedação da envoltória é feito em alvenaria composta por tijolos cerâmicos de 8 furos com argamassa de 2,5 centímetros, totalizando paredes com 14 centímetros de espessura aproximadamente, com acabamento externo em pintura acrílica na cor vermelho (Figura 42) e alvenaria do mesmo tipo com acabamento em pintura acrílica na cor branca. A exceção é a parede que está orientada para o oeste na biblioteca (Pavimento térreo) e no laboratório de conforto ambiental (2º pavimento) que devido a sua orientação para o oeste e o longo tempo de exposição à radiação solar foram construídas com dupla camada de tijolos cerâmicos de seis furos circulares, com 2,5 centímetros de argamassa, totalizando uma parede com aproximadamente 26 centímetros de espessura e com acabamento externo em pintura acrílica na cor branca (Figura 43). A diferença dos materiais componentes da envoltória resulta em superfícies com comportamentos térmicos distintos, alterando suas propriedades térmicas de Transmitância (U), Capacidade Térmica (C_T) e Atraso térmico (ϕ). O RTQ-C leva em consideração a avaliação da transmitância nos pré-requisitos específicos de envoltória, considerando a média das transmitâncias dos diferentes materiais que constituem a envoltória ponderada pelas áreas que ocupam. Na Tabela 19 estão relacionadas as propriedades térmicas dos dois tipos de paredes que compõem a envoltória, as áreas que cada superfície ocupa e as transmitâncias ponderadas pela área.

Figura 42 – Representação da parede simples da envoltória da edificação



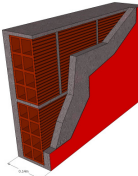
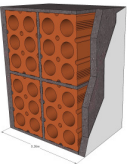
Fonte: OLIVEIRA, Bruno

Figura 43 – Representação da parede dupla



Fonte: OLIVEIRA, Bruno

Tabela 19 – Propriedades térmicas das paredes da envoltória e transmitância final usada para avaliação

Parede	Descrição	Transmitância (U)	Capacidade Térmica (C _T)	Atraso Térmico (φ)	Área (m ²)	Ponderação da Área	Transmitância Ponderada
		W/m ² .K	kJ/m ² .K	Horas			
	Parede de Tijolos de 8 furos quadrados, assentados na menor dimensão. Dimensão do Tijolo: 9x19x19cm. Espessura total da parede: 14cm	2,49	158	3,3	1417,12	0,94	2,34
	Parede dupla de Tijolo de 6 furos circulares, assentados na menor dimensão. Dimensão do Tijolo: 10x15x20cm. Espessura total da parede: 26cm	1,52	248	6,5	81,82	0,06	0,09
Transmitância Final							2,43

Fonte: ABNT, 2005c p. 18 e 20

As características superficiais da envoltória (composição química, absorvidade²¹, rugosidade do material, ondulações da superfície, sua manutenção e cor) irão influenciar em outro pré-requisito específico, o de absortância. A fim de garantir envoltórias mais eficientes o RTQ-C recomenda o uso de revestimentos externos claros e com baixa absortância²² para

²¹ Propriedade de absorver líquido e gases (fonte: Dicionário on line de português – www.dicio.com.br. Acesso em: 10/03/2013.

²² Os valores adotados para as absortâncias podem ser obtidos através dos catálogos dos fabricantes, da NBR – 15220 – Parte 2 ou através de medições conforme recomendações da ASTM E1918-06, ASTM E903-96 ASHRAE 74-1988.

edificações localizadas nas Zonas Bioclimáticas de 2 a 8, utilizando também a média das absorptâncias ponderadas pela área que ocupam, conforme mostra a Tabela 20.

Tabela 20 – Absortância das diferentes paredes ponderada pela área e absortância final usada para avaliação

Material	Área (m ²)	Absortância	Ponderação pela área	Absortância Ponderada	Absortância Final
Parede de alvenaria com acabamento externo em pintura acrílica na cor branca	491,39	0,20	0,33	0,066	0,556
Parede de alvenaria com acabamento externo em pintura acrílica na cor vermelho	1007,55	0,74	0,67	0,49	

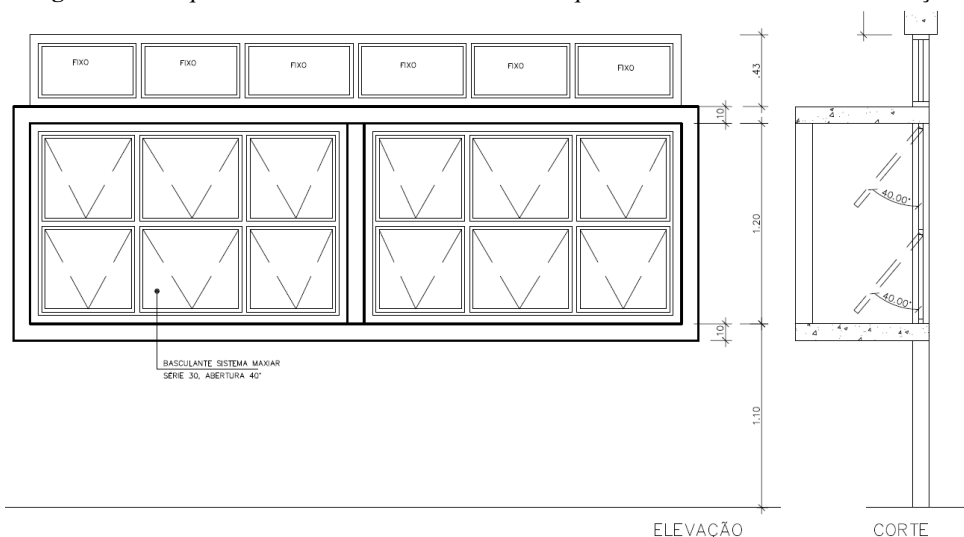
Fonte: ABNT, 2005b p. 8

4.1.2. Aberturas

Outro aspecto a ser analisado na envoltória são as aberturas, pois as mesmas são as principais responsáveis pela entrada direta de radiação solar e de iluminação natural. As aberturas na envoltória em estudo são compostas basicamente por dois tipos:

- Esquadrias de alumínio anodizado com acabamento em pintura eletrostática na cor preta, vidro liso incolor de espessura 4mm e sistema de abertura basculante tipo “maximar” permitindo uma abertura de até 40° da folha da janela. Esse tipo de esquadria apresenta variações de modulação, sendo a de maior ocorrência as que fazem fechamento com a secretaria, diretoria, salas de aula, biblioteca, laboratórios e sala dos professores, sendo composta por 6 folhas basculantes e 3 folhas fixas (Figura 44), possuindo elemento de proteção solar feito em concreto armado com acabamento em pintura acrílica na cor branca, conforme a Figura 45.

Figura 44 – Esquadria de Alumínio e vidro de maior quantidade na envoltória da edificação



Fonte: Acervo UFPA

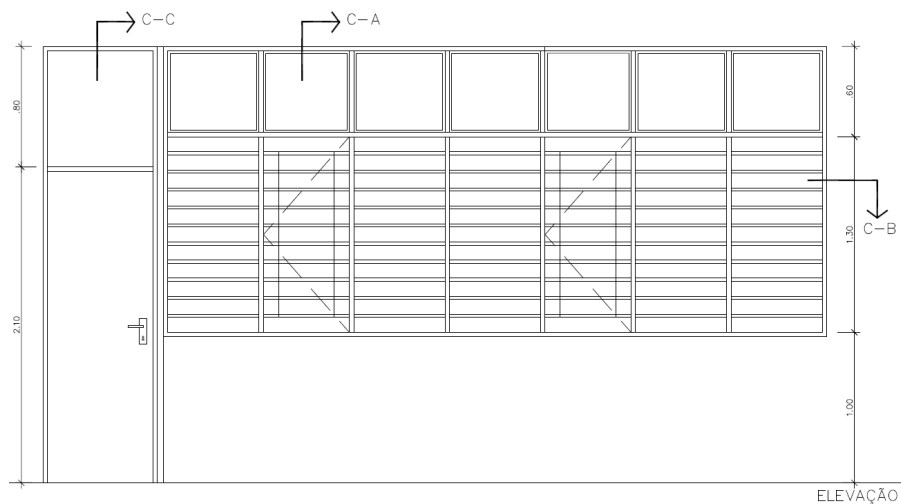
Figura 45 – Elementos de proteção solar da fachada norte



Fonte: OLIVEIRA, Bruno

- Esquadria em madeira de lei, tipo “Tatajuba” e vidro liso incolor de espessura 4mm, sistema de abertura de “abrir”, com veneziana de madeira do mesmo tipo instalada pela parte externa. As dimensões também variam em número de módulos (Figura 46). Essas esquadrias fazem o fechamento dos laboratórios, biblioteca e sala dos professores com a circulação (Figura 47).

Figura 46 – Dimensões da esquadria de madeira e vidro



Fonte: Acervo UFPA

Figura 47 – Esquadria de madeira e vidro com veneziana

Fonte: OLIVEIRA, Bruno

Para avaliação através do RTQ-C é necessário a utilização de um índice que transforma em números o conceito qualitativo de aberturas, para posteriormente ser utilizado nos cálculos. Este índice é denominado de Percentual de Abertura na Fachada Total (PAF_T) e é determinado através da razão entre a soma das áreas de abertura envidraçadas, ou com fechamento transparente ou translúcido (excluindo as áreas de caixilho das esquadrias), de cada fachada e a área total de fachada da edificação. O RTQ-C refere-se exclusivamente a aberturas em paredes verticais com inclinação superior a 60° em relação ao plano horizontal. Na Tabela 21 estão organizadas as relações entre as superfícies opacas e transparentes da envoltória da edificação em estudo.

Tabela 21 – Percentual de Abertura na Fachada Total (PAF_T)

Área de Envoltória	2462,59 m ²
Área de abertura envidraçada vertical total	195,42 m ²
Percentual de Abertura na Fachada Total (PAF_T)	7,93%

Fonte: OLIVEIRA, Bruno

4.1.3. Cobertura

A cobertura da envoltória é composta na maior parte por telhas metálicas com tratamento Termo-acústico²³ com acabamento em pintura na cor branca, espessura 0,43mm, conforme mostram as Figura 48 e Figura 49. As especificações técnicas da referida telha, bem como o valor da transmitância térmica encontram-se na Tabela 22. Apenas uma pequena porção da cobertura da envoltória é composta por laje maciça de 10cm de espessura revestida

²³ Referência: ISOESTE ISOTELHA AGRO-INDUSTRIAL. Dados retirados do projeto e do caderno de encargos.

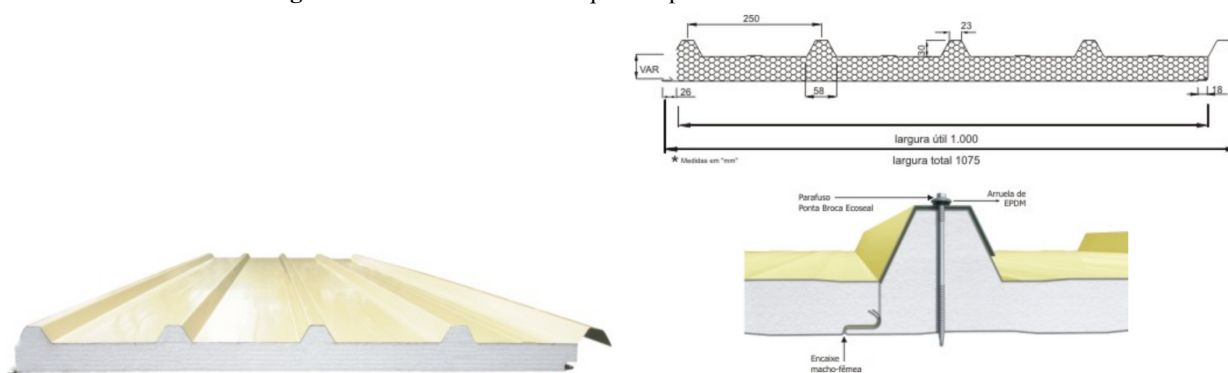
por uma camada impermeabilizante de manta asfáltica de 3mm de espessura, fazendo o fechamento nas calhas de concreto e na laje de cobertura da oficina do 3º pavimento (Figura 50, Figura 51 e Figura 52). Outra parte da cobertura da envoltória é composta por laje de concreto pré-moldado com o preenchimento em poliestireno expandido (EPS – Isopor), com camada de contra piso, argamassa de assentamento e revestimento cerâmico, que cobre parte do laboratório de conforto ambiental (Figura 53 e Figura 54).

Figura 48 – Detalhe da cobertura do bloco 1 do CEAMAZON



Fonte: OLIVEIRA, Bruno

Figura 49 – Detalhes da Telha que compõe a cobertura da envoltória



Fonte: ISOESTE

Tabela 22 – Características Técnicas da Telha da Cobertura

Nº de apoios	Espessura Isolante (mm)	Espessura Revestimento (mm)	Peso Próprio (Kg/m ²)		“U” Coef. Global de transmitância Térmica (W/m ² .K)	Comprimento o Máximo (m)		Vão Máximo entre apoios (mm)							
			Aço/Aço	Aço/Filme		Aço/Aço	Aço/Filme	Aço/Aço	Aço/Filme						
2 apoios	30	0,43	9,50	4,80	0,84	12	7,5	2500	1800						
		0,50													
	50	0,43	10,00	5,10		0,54	12			7,5	3250	1800			
		0,50													
	100	0,43	11,00	5,70			0,28			12			7,5	4500	1800
		0,50													
3 apoios	30	0,43	9,50	4,80	0,84			12	7,5	2750			1800		
		0,50													
	50	0,43	10,00	5,10		0,54		12	7,5		3500	1800			
		0,50													
	100	0,43	11,00	5,70			0,28	12	7,5					4500	1800
		0,50													

Fonte: Catálogo on line ISOESTE.

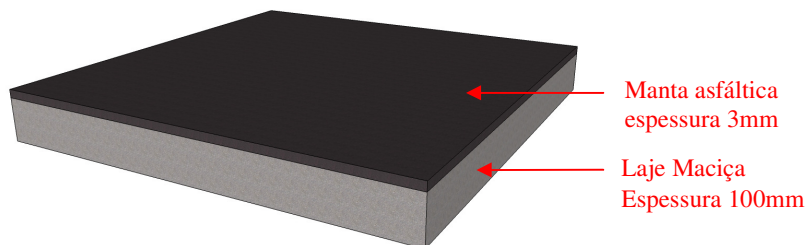
Figura 50 – Laje que cobre a oficina no 3º pavimento

Fonte: OLIVEIRA, Bruno

Figura 51 – Calha de concreto fazendo o fechamento de parte da envoltória

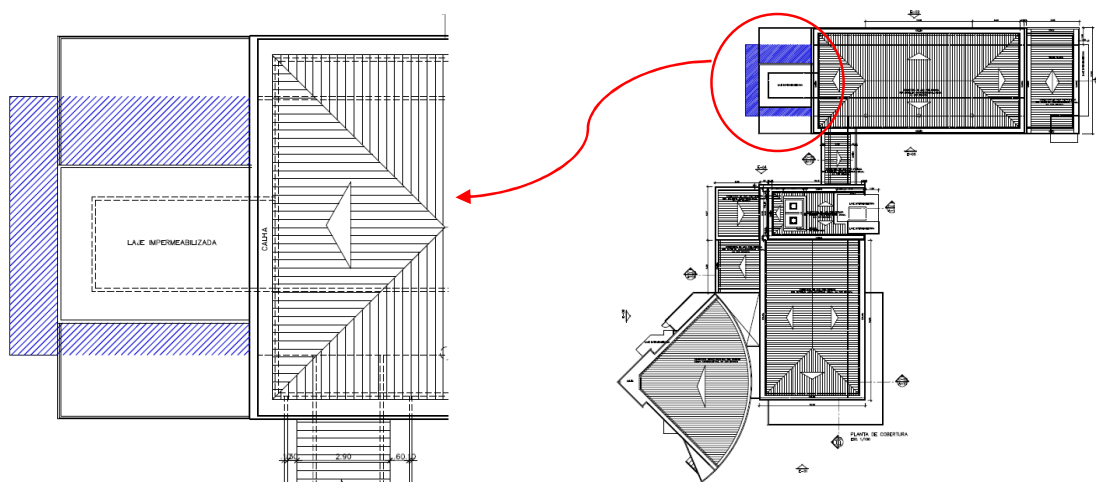
Fonte: OLIVEIRA, Bruno

Figura 52 – Desenho esquemático da laje maciça com revestimento impermeabilizante de manta asfáltica



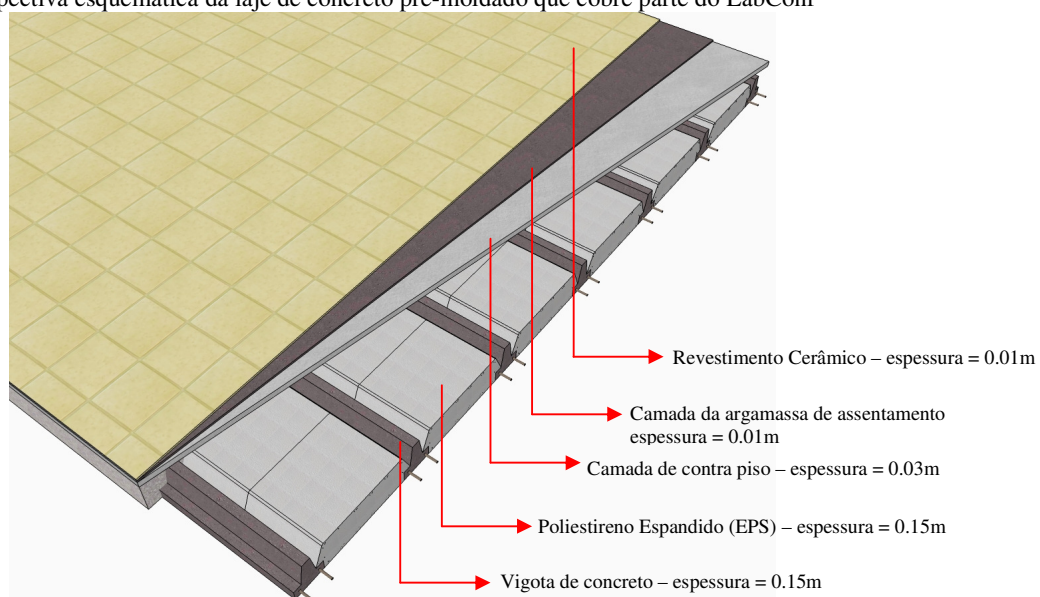
Fonte: OLIVEIRA, Bruno

Figura 53 – Porção da envoltória constituída por laje de concreto pré-moldado com acabamento em revestimento cerâmico



Fonte: Acervo UFPA

Figura 54 – Perspectiva esquemática da laje de concreto pré-moldado que cobre parte do LabConf



Fonte: OLIVEIRA, Bruno

Na avaliação da envoltória também é considerado a média ponderada das diversas transmitâncias e absorvâncias térmicas pela área que ocupa cada tipo de cobertura. Para os

tipos de coberturas mais comuns a NBR 15220-3 já apresenta valores tabelados, contudo, para a laje maciça revestida com manta asfáltica e para a laje pré-moldada foi necessário o cálculo da transmitância, devido não haver correspondente para esta composição na referida norma. O cálculo da transmitância térmica para essas coberturas encontra-se no apêndice A. Na Tabela 23 estão os valores correspondentes da média ponderada da transmitância térmica e o valor da transmitância final que será utilizado na avaliação do pré-requisito da envoltória.

Tabela 23 – Transmitância Térmica dos diferentes tipos de cobertura da envoltória e Transmitância final

Material	Área (m ²)	Transmitância	Ponderação pela área	Transmitância Ponderada	Transmitância Final
Telha metálica	574,75	0,84	0,85	0,714	1,1235
Laje maciça + manta asfáltica	68,66	3,57	0,10	0,357	
Laje Pré-moldada + revestimento cerâmico	31,02	1,05	0,05	0,0525	

Fonte: OLIVEIRA, Bruno

Para a avaliação da absorvância da cobertura da envoltória adotou-se os valores contidos na tabela B.2 da NBR 15220-2 (2005b, p. 8), sendo utilizado $\alpha = 0,20$ para telha metálica com pintura branca, $\alpha = 0,98$ para a laje maciça revestida com manta asfáltica na cor preta e novamente $\alpha = 0,20$ para laje pré-moldada com acabamento em revestimento cerâmico na cor branco gelo. A média das absorvâncias de cada porção da cobertura ponderada pela área que ocupam está organizada na Tabela 24, e seu valor final será utilizado na avaliação do pré-requisito da envoltória.

Tabela 24 - Absortância Térmica dos diferentes tipos de cobertura da envoltória e Absortância final

Material	Área (m ²)	Absortância	Ponderação pela área	Absortância Ponderada	Absortância Final
Telha metálica	574,75	0,20	0,85	0,17	0,278
Laje maciça + manta asfáltica	68,66	0,98	0,10	0,098	
Laje Pré-moldada + revestimento cerâmico	31,02	0,20	0,05	0,01	

Fonte: OLIVEIRA, Bruno

4.1.4. Sistema de Iluminação Artificial

O sistema de iluminação artificial adotado na edificação é caracterizado pela utilização predominante de lâmpadas fluorescentes. As luminárias adotadas foram basicamente de dois tipos:

- a) Luminária de embutir e de sobrepor com altas metálicas para lâmpadas fluorescentes tubulares, instaladas nas salas de aula, laboratórios e setor administrativo (Figura 55 e Figura 56);

Figura 55 – Imagem ilustrativa da luminária de embutir com aletas utilizada no CEAMAZON



Fonte: Catálogo eletrônico Target Iluminação (acessado em: 30/11/2012)

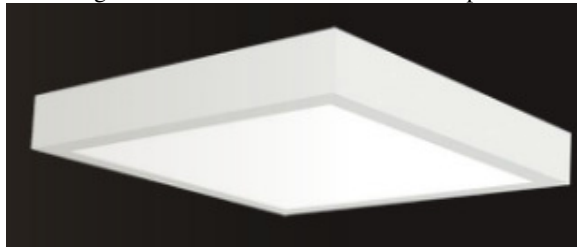
Figura 56 - Imagem ilustrativa da luminária de sobrepor com aletas utilizada no CEAMAZON



Fonte: Catálogo eletrônico Target Iluminação (acessado em: 30/11/2012)

- b) Luminárias de sobrepor com difusor em vidro jateado para lâmpadas fluorescentes compactas, instaladas nos ambientes de circulação, hall's, apoio e auditório (Figura 57).

Figura 57 – Imagem ilustrativa da luminária de sobrepor com difusor em vidro jateado



Fonte: <http://www.ideiaprojetos.com.br/produtos.htm> (acessado em: 30/11/2012)

O levantamento quantitativo e qualitativo das luminárias da edificação está organizado na Tabela 25.

Tabela 25 – Levantamento das luminárias e da carga instalada no sistema de iluminação artificial

Pavim.	Ambiente	Tipo de Luminária	Nº de Luminária	Potência da lâmpada (W)	Nº de Lâmpada p/ Luminária	Potência do conjunto (lâmpada + Reator) (W)	Potência total Instalada (W)
1º Pav.	Auditório	Embutir	32	26	2	57,2	1830,4
	Sala de Apoio	Embutir	1	32	2	70,4	70,4
	Cabine de som	Embutir	2	26	2	57,2	114,4
	Espaço Multiuso	Sobrepor	14	26	2	57,2	800,8
	Recepção	Embutir	1	16	4	70,4	70,4
	Secretaria	Embutir	2	16	4	70,4	140,8
	Diretoria	Embutir	2	16	4	70,4	140,8
	Cafeteria	Sobrepor	4	26	2	57,2	228,8
	Copa / Cozinha	Sobrepor	1	32	2	70,4	70,4
		Sobrepor	1	16	2	35,2	35,2
	WC serviço	Sobrepor	1	16	2	35,2	35,2
	Dispensa	Sobrepor	1	26	2	57,2	57,2
	Hall	Sobrepor	16	26	2	57,2	915,2
	DML	Sobrepor	1	20	1	20	20
	Bnhº PNE	Sobrepor	1	26	1	28,6	28,6
	Bnhº Masc.	Sobrepor	3	26	1	28,6	85,8
	Bnhº Fem.	Sobrepor	3	26	1	28,6	85,8
	Passarela	Sobrepor	2	26	2	57,2	114,4
	Circulação	Sobrepor	6	26	2	57,2	343,2
	Biblioteca	Sobrepor	20	16	4	70,4	1408
Lab. Inst. Elétrica	Sobrepor	12	16	4	70,4	563,2	
Lab. Fís. Químico	Sobrepor	9	16	4	70,4	633,6	
Lab. Sist. Motriz.	Sobrepor	12	16	4	70,4	844,8	
2º Pav.	Escada	Sobrepor	2	20	1	20	40
	Sala de Aula 1	Embutir	8	16	4	70,4	563,2
	Sala de Aula 2	Embutir	8	16	4	70,4	563,2
	Hall	Sobrepor	15	26	2	57,2	858
	Sala de Reunião	Embutir	4	16	4	70,4	281,6
	Bnhº PNE	Sobrepor	1	26	2	28,6	28,6
	Bnhº Masc	Sobrepor	3	26	1	28,6	85,8
	Bnhº Fem	Sobrepor	3	26	1	28,6	85,8
	Passarela	Sobrepor	2	26	2	57,2	114,4
	Circulação	Sobrepor	6	26	2	57,2	343,2
	Lab. Conf. Amb.	Sobrepor	12	16	4	70,4	844,8
	Lab. Computação	Sobrepor	12	16	4	70,4	844,8
	Lab. Qual. Energ.	Sobrepor	12	16	4	70,4	844,8
Lab. Sist. Motriz	Sobrepor	12	16	4	70,4	844,8	
3º Pav.	Escada	Sobrepor	2	20	1	20	40
	Hall	Sobrepor	8	26	2	57,2	457,6
	Bnhº PNE	Sobrepor	1	26	1	28,6	28,6
	Bnhº Masc.	Sobrepor	3	26	1	28,6	85,8
	Bnhº Fem	Sobrepor	3	26	1	28,6	85,8
	Passarela	Sobrepor	2	26	2	57,2	114,4
	Circulação	Sobrepor	6	26	2	57,2	343,2
	Oficina	Sobrepor	3	16	4	70,4	211,2
	Sala Professor 1	Sobrepor	3	16	4	70,4	211,2
	Sala Professor 2	Sobrepor	3	16	4	70,4	211,2
	Sala Professor 3	Sobrepor	3	16	4	70,4	211,2
	Sala Professor 4	Sobrepor	3	16	4	70,4	211,2
	Sala Professor 5	Sobrepor	3	16	4	70,4	211,2
	Sala Professor 6	Sobrepor	3	16	4	70,4	211,2
Lab. De Aferição	Sobrepor	6	16	4	70,4	422,4	
Escadas	Sobrepor	2	20	1	20	40	

Fonte: OLIVEIRA, Bruno

O levantamento da carga total instalada do sistema de iluminação artificial se faz necessário para a determinação da densidade de potência instalada (DPI), a qual será

comparada com a densidade de potência limite (DPI_L), com valores pré-estabelecidos pelo RTQ-C, para a classificação do nível de eficiência do sistema.

4.1.5. Sistema de Condicionamento de Ar

O sistema de condicionamento ar previsto para a edificação é baseado no uso de aparelhos de ar condicionado do “split”, não havendo ambientes de permanência prolongada projetados para ventilação passiva, caso houvesse, estes só poderiam ser avaliados pelo método da simulação. Entretanto, neste trabalho o método de avaliação utilizado é o prescritivo, sendo adotado para o equivalente numérico de ventilação (EqNumV) o valor mínimo, ou seja, nível E.

Na Tabela 26 estão relacionados os aparelhos de ar condicionado especificados para cada ambiente, bem como suas potências e respectivas classificações de nível de eficiência.

Tabela 26 – Levantamento do sistema de condicionamento de ar

Ambiente	Área	Classificação	Quantidade	COP	BTU
Auditório	152,09	E	2	2,50	58000
			2	2,40	35000
Recepção	7,97	A	1	2,91	9000
Secretaria	11,60	A	1	2,91	18000
Diretoria	11,60	A	1	2,91	18000
Biblioteca	106,23	C	3	2,60	30000
Lab. Inst. Elétricas	69,38	B	2	3,60	24000
Lab. Análise Físico-Química	52,51	E	1	2,40	35000
Lab. De Sistemas Motrizes (1º Pav.)	60,96	E	1	2,50	58000
Lab. Conforto Ambiental	59,24	E	1	2,50	58000
Lab. Computação	70,21	C	1	2,60	30000
			1	3,06	24000
Lab. Qualidade de Energia	70,21	B	2	3,06	24000
Lab. Sistemas Motrizes (2º Pav.)	60,96	E	1	2,40	35000
Sala de Reunião	17,11	B	1	2,91	18000
Sala de Aula A	52,52	B	2	2,91	18000
Sala de Aula B	52,56	B	2	2,91	18000
Lab. De Aferição	34,81	B	1	3,06	24000
Sala dos Professores 1	17,11	A	1	3,21	13000
Sala dos Professores 2	17,11	A	1	3,21	13000
Sala dos Professores 3	17,11	A	1	3,21	13000
Sala dos Professores 4	17,11	A	1	3,21	13000
Sala dos Professores 5	17,11	A	1	3,21	13000
Sala dos Professores 6	17,11	A	1	3,21	13000

Fonte: OLIVEIRA, Bruno

4.2. APLICAÇÃO DO RTQ-C – MÉTODO PRESCRITIVO

4.2.1. Envoltória

Conforme apresentado anteriormente, a determinação do nível de eficiência da envoltória é estabelecida através do cálculo do indicador de consumo da envoltória (IC_{env}), o qual é obtido através de uma equação destinada a edificações com área de projeção maior que 500m², com limite mínimo para o fator de forma igual a 0,17 e localizadas na zona bioclimática 8. A equação do Indicador de Consumo está em função de algumas variáveis da edificação e esses dados de entrada serão discriminados na sequência.

4.2.1.1. Fator de Altura (FA):

O fator de altura é compreendido pela razão entre a área de projeção da cobertura e a área total construída (Equação 10), excluindo os subsolos. Extraíndo as referidas áreas do CEAMAZON:

(Equação 10)

$$FA = A_{pcob} \div A_{total}$$

$$FA = 674,43 \div 1907,98$$

$$FA = 0,35$$

4.2.1.2. Fator de Forma (FF):

O Fator de Forma é um índice representativo das proporções do edifício e corresponde a razão entre a área total da envoltória (Tabela 27) e o volume total da edificação (Tabela 28).

Tabela 27 – Área da envoltória das elevações e área total da envoltória

Área da Envoltória (A_{env})	
Elevação 01	268,63
Elevação 02	508,96
Elevação 03	443,38
Elevação 04	282,66
Elevação 05	443,2
Elevação 06	515,76
Área total da Envoltória	2462,59

Fonte: OLIVEIRA, Bruno

Tabela 28 – Volume total da Edificação

Volume Total	
Pav. 1	3139,56
Pav. 2	2259,756
Pav. 3	1290,78
Barriletes e Casa de Máquinas	61,084
Total	6751,18

Fonte: OLIVEIRA, Bruno

(Equação 11)

$$FF = A_{env} \div V_{total}$$

$$FF = 2.462,59 \div 6.751,18$$

$$\mathbf{FF = 0,36}$$

4.2.1.3. Percentual de área de abertura na fachada total (PAF_T):

Este percentual é um índice representativo do tamanho das aberturas, ou seja, é uma forma de transformar em números o conceito qualitativo de abertura, para que o mesmo possa ser usado na equação do Indicador de Consumo. O PAF_T é calculado pela razão entre a soma das áreas de abertura envidraçadas, ou de qualquer outro fechamento transparente ou translúcido, de cada fachada e a área total de fachada da edificação, conforme a (Equação 12:

(Equação 12)

$$PAF_T = \text{Área de abertura envidraçada vertical} \div A_{env}$$

$$PAF_T = 195,42 \div 2.462,59$$

$$\mathbf{PAF_T = 0,079}$$

4.2.1.4. Fator Solar (FS):

O Fator Solar corresponde a relação entre o ganho de calor que entra através de uma abertura e a radiação solar incidente na mesma, incluindo o calor radiante transmitido pelo vidro e a radiação solar absorvida, que é re-irradiada ou transmitida, por condução ou convecção ao ambiente. No RTQ-C o fator solar considerado é relativo a uma incidência solar ortogonal à abertura. Este parâmetro costuma ser informado pelo fabricante do vidro ou material transparente, contudo, não foi possível se conseguir essa informação, pois não constava na especificação dos vidros no projeto de arquitetura nem no caderno técnico de especificações.

Marinoski (2008, p. 4), aponta dois caminhos para a determinação do Fator Solar: o desenvolvimento de modelos matemáticos de cálculo e as medições diretas em campo ou em laboratório. Ele afirma ainda que para os tipos mais comuns de vidros e janelas a utilização de modelos matemáticos se torna mais adequada, pois reduz o tempo e os custos com testes. Todavia, para outros tipos de sistemas de aberturas complexos (com a utilização de proteções solares e vidros especiais) as medições se tornam necessárias, haja vista a dificuldade de se equacionar os fenômenos físicos envolvidos. O RTQ-C faz referência a NBR 15220-2 (2005b, p. 6), na qual consta uma equação (Equação 13) para a obtenção do Fator Solar, porém

Marinoski (2008, p. 4) a considera apenas como uma forma simplificada de estimativa aplicada a elementos transparentes ou translúcidos.

(Equação 13)

$$FS = U \cdot \alpha \cdot R_{se} + \tau$$

Onde:

FS = Fator solar de elementos transparentes ou translúcidos (J/m²K);

U = Transmitância térmica do componente (W/m².K);

α = Absortância à radiação solar;

R_{se} = Resistência superficial externa (m².K/W);

τ = Transmitância à radiação solar.

Para a obtenção do Fator Solar através desta equação é necessário que todos os dados tenham sido previamente medidos ou coletados diretamente dos catálogos dos fabricantes. Como não foi possível nenhuma das duas opções adotou-se o Fator Solar para tipologia de vidro liso comum, igual a **0,86**, publicado em Frota; Schiffer (2001, p. 194).

4.2.1.5. Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS):

O ângulo vertical de sobreamento, conforme indica o RTQ-C, é formado entre a base da folha de vidro e o ponto mais distante da proteção solar horizontal, ou de partes adjacentes do edifício que funcionam como tal. Para o emprego na equação do Indicador de Consumo da Envoltória o AVS deve ser resultado da média ponderada do ângulo vertical de sombreamento em função da área das aberturas. Portanto, foi levantando o ângulo vertical de cada abertura, separado por fachada, com os resultados organizados em tabela para posterior somatória. Nas tabelas de Tabela 29 a Tabela 32 estão os valores dos AVS de cada abertura de cada fachada da edificação. O levantamento dos AVS's poderá ser conferido no apêndice B.

Tabela 29 – AVS da Fachada Leste

Código Janela	Local	Orientação	Quant.	Área Transp. unitária	Área Total	Ponderação por área	AVS	AVS ponderado
EA1	Secretaria e Diretoria	Leste	2	2,43	4,86	0,16	35,34	5,65
EA1-i	Recepção	Leste	1	2,43	2,43	0,08	65,79	5,26
EA1-ii	Sala de Reunião e Salas de aula	Leste	6	2,43	14,58	0,48	49,98	24,00
EA7	Biblioteca e Lab. De Instalações elétricas	Leste	2	1,92	3,84	0,13	0	0
EA10 - 1º Pav.	Hall	Leste	2	0,75	1,50	0,05	12,24	0,61
EA10 - 2º Pav.	Hall	Leste	2	0,75	1,50	0,05	19,63	1,00
EA10 - 3º Pav.	Hall	Leste	2	0,75	1,50	0,05	45,00	2,25
AVS Total Ponderado da fachada Leste								38,77

Fonte: OLIVEIRA, Bruno

Tabela 30 - AVS da Fachada Norte

Código Janela	Local	Orientação	Quant,	Área Transp. unitária	Área Total	Ponderação por área	AVS	AVS ponderado
EA1	Bibliot., Lab, Fís,-Quím., Lab, Sist, Motrizes	Norte	19	2,43	26,73	0,44	35,98	15,83
EA1-i	Lab, Conf, Ambiental	Norte	2	2,43	4,86	0,08	50,54	4,04
EA1-ii	Lab, Sist, Motrizes	Norte	2	2,43	4,86	0,08	40,26	0,34
EA1-iii	Sala de Professor	Norte	8	2,43	19,44	0,32	47,65	15,24
EA4	Auditório	Norte	1	1,14	1,14	0,02	20,66	0,41
EA4-i	Cabine de Som	Norte	1	1,14	1,14	0,02	0	0
EA6	Escada	Norte	2	0,38	0,76	0,01	0	0
EA12	Oficina	Norte	1	2,24	2,24	0,04	20,61	0,82
AVS Total Ponderado da fachada Norte								36,68

Fonte: OLIVEIRA, Bruno

Tabela 31 – AVS da fachada Oeste

Código Janela	Local	Orientação	Quant,	Área Transp. unitária	Área Total	Ponderação por área	AVS	AVS ponderado
EA1	Sala de Aula	Oeste	2	2,43	4,86	0,32	35,98	11,51
EA7	Lab, Inst, Elébricas	Oeste	1	1,92	1,92	0,13	0	0
VV1	Bnhº masc, e fem, 1º e 2º pav,	Oeste	4	0,89	3,56	0,24	0	0
VV2	Copa / cozinha	Oeste	1	1,53	1,53	0,10	0	0
VV3	Copa / cozinha	Oeste	1	0,64	0,64	0,04	0	0
VV4	Wc, Serviço	Oeste	1	0,38	0,38	0,02	0	0
VV5	Bnhº masc, e fem, 3º pav,	Oeste	2	1,02	2,04	0,15	0	0
AVS Total Ponderado da fachada Oeste								11,51

Fonte: OLIVEIRA, Bruno

Tabela 32 – AVS da fachada sul

Código Janela	Local	Orientação	Quant,	Área Transp. unitária	Área Total	Ponderação por área	AVS	AVS ponderado
EA2	Espaço Multiuso	Sul	1	12,68	12,68	0,20	77,10	15,42
EA4	Auditório	Sul	1	1,14	1,14	0,02	20,66	0,41
EA5	Sala de Apoio	Sul	1	0,51	0,51	0,008	0	0
EA6	Escadas	Sul	2	0,38	0,76	0,01	0	0
EA8	Lab, Sist, Motrizes	Sul	1	1,71	1,71	0,03	21	0,63
EA9	Lab, Sist, Motrizes	Sul	1	3,29	3,29	0,05	40,78	2,04
EA12	Oficina	Sul	1	2,24	2,24	0,04	21,56	0,86
EM3	Lab, Inst, Elétrica, e Lab, Fis, Química	Sul	2	1,06	2,12	0,03	47,14	1,41
EM2	Lab, Fis, Química	Sul	3	3,84	11,52	0,19	47,17	8,96
EM4	Lab, Qualid, energia	Sul	1	6,69	6,69	0,11	47,14	5,18
EM6	Sala dos professores	Sul	4	2,88	11,52	0,19	64,08	12,18
EM7	Sala dos professores	Sul	1	0,90	0,90	0,01	64,08	0,64
EM8	Lab, de Aferição	Sul	1	6,71	6,71	0,11	64,08	7,05
AVS Total Ponderado da fachada sul								54,78

Fonte: OLIVEIRA, Bruno

Na Tabela 33 estão organizados os AVS's totais ponderados de cada fachada, onde a somatória deles irá gerar o AVS que deverá ser usado na equação do Indicador de Consumo da Envoltória, porém o valor obtido é superior ao máximo permitido pela equação, sendo neste caso recomendado pelo RTQ-C a utilização de um AVS 45° (PROCEL, 2010, p.19).

Tabela 33 – Ângulo Vertical de Sombreamento Total

Fachada	AVS
Leste	38,77
Norte	36,68
Oeste	11,51
Sul	54,78
Total	141,74

Fonte: OLIVEIRA, Bruno

4.2.1.6. Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS):

O ângulo horizontal de sombreamento foi obtido a partir do ângulo formado entre o plano na base da folha de vidro e o segundo plano formado pela extremidade mais distante da proteção solar vertical e a extremidade oposta da base da folha de vidro. Foi levantado o ângulo de cada abertura transparente que tivesse elemento de proteção solar vertical ou partes do edifício que funcionasse como tal. Os valores dos ângulos das proteções foram obtidos por meio dos desenhos em planta, considerando os dois lados de cada abertura, sendo computado a média do ângulo das duas proteções solares, mesmo quando há proteção em apenas um lado da abertura. Tal qual o AVS, o AHS empregado na equação do Indicador de Consumo da Envoltória é resultado da média ponderada pela área transparente das aberturas. Os dados referentes aos ângulos horizontais de sombreamento de cada abertura de cada fachada estão organizados nas Tabela 34 a Tabela 37. O levantamento dos AHS's encontra-se no apêndice C.

Tabela 34 – AHS da fachada leste

Código Janela	Local	Orientação	Quant.	Área Transp. unitária	Área Total	Ponderação por área	AHS ₁	AHS ₂	AHS ponderado
EA1	Secretaria, Diret, S, de Reunião e S, de Aula	Leste	8	2,43	19,44	0,64	21,98	21,98	7,03
EA1	Recepção	Leste	1	2,43	2,43	0,09	0	0	0
EA7	Lab, Inst, Elétricas	Leste	2	1,92	3,84	0,13	0	0	0
EA10 – 1º, 2º e 3º Pav.	Hall	Leste	3	0,75	2,25	0,07	0	79,33	2,78
EA10-i	Hall	Leste	3	0,75	2,25	0,07	79,42	71,57	5,28
AHS Total Ponderado da fachada Leste									15,09

Fonte: OLIVEIRA, Bruno

Tabela 35 – AHS da fachada norte

Código Janela	Local	Orientação	Quant.	Área Transp. unitária	Área Total	Ponderação por área	AHS ₁	AHS ₂	AHS ponderado
EA1	Biblioteca, Lab, e Conf, Amb.,	Norte	2	2,43	4,86	0,06	21,98	36,09	1,74
EA1-i	Biblioteca e lab, F, Química, Lab, S, Motrizes, hall's, lab, conf, Amb, Lab, Comput., lab, qualid, Energia, S, dos prof, Lab, de Aferição	Norte	26	2,43	63,18	0,79	21,98	21,98	15,54
EA1-ii	Biblioteca	Norte	1	2,43	2,43	0,03	21,98	34,13	0,84
EA1-iii	Lab, Sit, Motrizes	Norte	2	2,43	4,86	0,06	21,98	35,33	1,72
EA4	Auditório	Norte	1	1,14	1,14	0,01	33,81	34,12	0,34
EA4-i	Cabine de som	Norte	1	0,38	0,38	0,005	31,59	0	0,08
EA6	Escada	Norte	2	0,38	0,76	0,009	0	37,40	0,17
EA12	Oficina	Norte	1	2,24	2,24	0,03	43,72	0	0,65
AHS Total Ponderado da fachada Norte									21,08

Fonte: OLIVEIRA, Bruno

Tabela 36 – AHS da fachada oeste

Código Janela	Local	Orientação	Quant.	Área Transp. unitária	Área Total	Ponderação por área	AHS ₁	AHS ₂	AHS ponderado
EA1	Sala de Aula	Oeste	2	2,43	4,86	0,32	21,98	21,98	11,51
EA7	Lab, Inst, Elétricas	Oeste	1	1,92	1,92	0,13	0	0	0
VV1	Bnhº masc, e fem, 1º e 2º pav,	Oeste	4	0,89	3,56	0,24	0	0	0
VV2	Copa / cozinha	Oeste	1	1,53	1,53	0,10	0	0	0
VV3	Copa / cozinha	Oeste	1	0,64	0,64	0,04	0	0	0
VV4	Wc, Serviço	Oeste	1	0,38	0,38	0,02	0	0	0
VV5	Bnhº masc, e fem, 3º pav,	Oeste	2	1,02	2,04	0,15	0	0	0
AHS Total Ponderado da fachada Oeste									11,51

Fonte: OLIVEIRA, Bruno

Tabela 37 – AHS da fachada sul

Código Janela	Local	Orientação	Quant.	Área Transp. unitária	Área Total	Ponderação por área	AHS ₁	AHS ₂	AHS ponderado
EA2	Espaço Multiuso	Sul	1	12,68	12,68	0,20	0	0	0
EA4	Auditório	Sul	1	1,14	1,14	0,02	34,06	40,77	0,74
EA5	Sala de Apoio	Sul	1	0,51	0,51	0,008	0	99,43	0,39
EA6	Escadas	Sul	2	0,38	0,76	0,01	0	0	0
EA8	Lab, Sist, Motrizes	Sul	1	1,71	1,71	0,03	33,31	33,36	1
EA9	Lab, Sist, Motrizes	Sul	1	3,29	3,29	0,05	33,31	33,36	1,66
EA12	Oficina	Sul	1	2,24	2,24	0,04	0	0	0
EM3	Lab, Inst, Elétrica, e	Sul	1	1,06	1,06	0,02	0	13,81	0,13
EM3-i	Lab, Fis, Química	Sul	1	1,06	1,06	0,02	0	28,58	0,28
EM2	Lab, Fis, Química	Sul	1	3,84	3,84	0,06	0	45,45	1,36
EM2-i	Lab, Computação	Sul	1	3,84	3,84	0,06	0	14,11	0,42
EM2-ii	Lab, Qualid, De Energia	Sul	1	3,84	3,84	0,06	0	21,26	0,63
EM4	Lab, Qualid, energia	Sul	1	6,69	6,69	0,11	0	34,36	1,88
EM6	Sala dos professores	Sul	1	2,88	2,88	0,05	0	11,49	0,29
EM6-i	Sala dos professores	Sul	1	2,88	2,88	0,05	0	12,90	0,32
EM6-ii	Sala dos professores	Sul	1	2,88	2,88	0,05	0	16,60	0,41
EM6-iii	Sala dos professores	Sul	1	2,88	2,88	0,05	0	27,01	0,67
EM7	Sala dos professores	Sul	1	0,90	0,90	0,01	0	21,23	0,11
EM8	Lab, de Aferição	Sul	1	6,71	6,71	0,11	0	39,30	2,16
AHS Total Ponderado da fachada sul									12,45

Fonte: OLIVEIRA, Bruno

Na Tabela 38 estão organizados os AHS ponderados de cada fachada, onde a somatória deles irá gerar o AHS que deverá ser usado na equação do Indicador de Consumo da Envoltória.

Tabela 38 – Ângulo Horizontal de Sombreamento Total

Fachada	AHS
Leste	15,09
Norte	21,08
Oeste	11,51
Sul	12,45
Total	60,13

Fonte: OLIVEIRA, Bruno

4.2.1.7. Cálculo do Indicador de Consumo da Envoltória (IC_{env}):

Fazendo a substituição das variáveis contidas na fórmula do Indicador de Consumo da Envoltória para edificações com Área de Projeção do Edifício (A_{PE}) maior que 500m², encontra-se:

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

0,35
0,36
0,08
0,86
45
60,13
0,36
0,08

↑
↑
↑

0,08
45
60,13

$$IC_{env} = 276,34$$

4.2.1.8. Cálculo dos Indicadores de Consumo Máximo e Mínimo (IC_{max} e IC_{min}):

Após a obtenção do resultado do Indicador de Consumo da Envoltória é necessário localizar este resultado dentro de uma escala de eficiência. Para isso, calcula-se os Indicadores de Consumo Máximo (IC_{max}) e Mínimo (IC_{min}), os quais irão estabelecer os limites da classificação.

O cálculo do IC_{max} e IC_{min} é efetuado através da mesma equação do IC_{env} , mantendo os mesmos valores de Fator de Forma e Fator de Altura, alterando os dados referentes ao PAF_T , FS , AVS e AHS por valores preestabelecido pelo RTQ-C. Na Tabela 39 abaixo estão organizados os dados das variáveis para o cálculo de cada Indicador de Consumo.

Tabela 39 - Parâmetros para o cálculo de IC

IC	PAF_T	FS	AVS	AHS
IC_{env}	0,08	0,86	45	60,13
IC_{max}	0,60	0,61	0	0
IC_{min}	0,05	0,87	0	0

Fonte: OLIVEIRA, Bruno

O resultado obtido para o IC_{max} foi de 342,44 e para o IC_{min} foi de 295,55. De posse dos valores máximo e mínimo é estabelecido um intervalo dentro do qual a edificação deverá ser avaliada. O intervalo é dividido em 4 partes (i), onde cada parte representa um nível de classificação, variando de A a E.

$$i = \frac{IC_{\max D} - IC_{\min}}{4} \longrightarrow i = \frac{342,44 - 295,55}{4} \longrightarrow i = 11,72$$

Estabelecido o valor do intervalo pode-se então definir os limites da escala de classificação²⁴, com os valores de cada nível de eficiência organizados na Tabela 40.

Tabela 40 – Limites dos intervalos

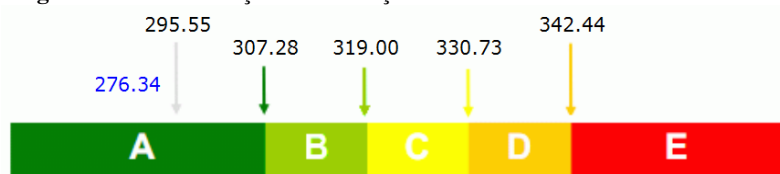
Eficiência	A	B	C	D	E
Lim Min	-	304,63	316,35	328,08	339,80
Lim Máx	304,62	316,34	328,07	339,79	-

Fonte: OLIVEIRA, Bruno

4.2.1.9. Determinação do Nível de Eficiência da Envoltória:

A avaliação de desempenho energético da envoltória, conforme a metodologia prescritiva do RTQ-C e utilizando a ferramenta WebPrescritivo²⁵ para os cálculos, obteve como resultado um $IC_{env} = 276,34$, correspondendo ao nível “A” quanto à eficiência da envoltória (Figura 58).

Figura 58 – Classificação da edificação na escala de eficiência da envoltória



Fonte: www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/webprescritivo/index.html

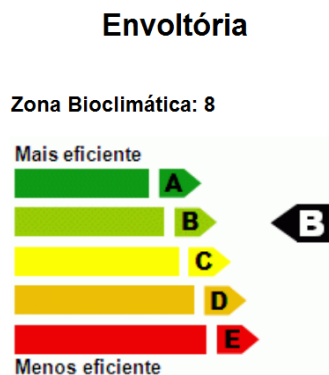
No entanto, a manutenção deste resultado está em função do cumprimento dos pré-requisitos da envoltória. De acordo com o estabelecido pelo RTQ-C, para uma edificação manter o nível de classificação “A” deve atender os limites para transmitância térmica das paredes (U_{PAR}) e cobertura (U_{COB}), atender os limites relativos a absorvância das paredes (α_{PAR}) e coberturas (α_{COB}) e os limites de fator solar caso haja iluminação zenital. Na caracterização da envoltória verificou-se que o valor da transmitância térmica da parede foi de $U_{PAR} = 2,43 \text{ W/m}^2\text{K}$, abaixo do limite estabelecido pelo RTQ-C que é de $U_{PAR} = 3,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ para paredes com capacidade térmica superior a $80 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ (a capacidade térmica média das paredes do CEAMAZON é de $163,40 \text{ kJ/m}^2\text{K}$). Porém, com relação à transmitância térmica da cobertura verificou-se que o valor foi de $1,12 \text{ W/m}^2\text{K}$, ultrapassando o limite que é de $1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$, não atendendo assim o pré-requisito de transmitância térmica. No pré-requisito de absorvância térmica o limite estabelecido pelo RTQ-C é de $\alpha = 0,5$ do espectro solar, e os valores verificados foram de $\alpha_{PAR} = 0,556$ e $\alpha_{COB} = 0,278$ para as paredes e cobertura

²⁴ Ver tabela 9

²⁵ Ferramenta de avaliação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais pelo método prescritivo do RTQ-C – Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/webprescritivo/index.html> (acessado em: 02/01/2013).

respectivamente. Assim, apenas a cobertura atendeu os limites da absorvância da parede. O terceiro pré-requisito, que diz respeito ao fator para aberturas zenitais, não foi avaliado devido a inexistência de aberturas zenitais. Com isso, o não cumprimento dos pré-requisitos rebaixou o nível de classificação de “A” para “B”, com equivalente numérico da envoltória igual a 4. (Figura 59).

Figura 59 – Nível de eficiência da envoltória após avaliação dos pré-requisitos



Fonte: www.labee.ufsc.br/sites/default/files/webprescritivo/index.html

4.2.2. Sistema de Iluminação Artificial

De acordo com o RTQ-C, há dois métodos para a avaliação do sistema de iluminação artificial, um método baseado na área do edifício para edificações com até três atividades principais; e um segundo método baseado nas atividades desempenhadas no edifício, avaliando os ambientes separadamente. Este segundo método é empregado sempre que o método das áreas não for aplicável.

O método escolhido para a avaliação do sistema de iluminação artificial foi o das atividades do edifício por levar em consideração os seus diferentes usos. Este método determina limites de densidade de potência de iluminação instalada para cada uma das atividades desempenhadas na edificação, avaliando os ambientes separadamente somente com relação ao atendimento dos pré-requisitos.

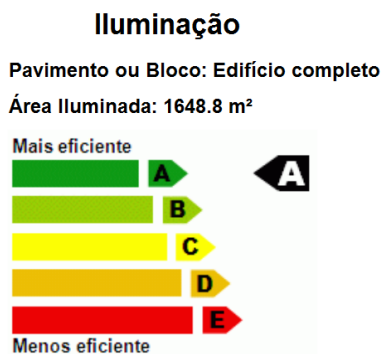
Na Tabela 41 foram organizados todos os ambientes atendidos pelo sistema de iluminação artificial, agrupados por tipo de atividade. A potência instalada por cada atividade foi então comparada com a potência limite para cada nível de classificação, obtendo como resultado final a classificação “A” de eficiência (Figura 60).

Tabela 41 – Tabela de áreas e potência total instalada por atividade

Ambiente	Pavimento	Área (m²)	Atividade	Pot. instal. p/ ativid.	Pot. Limite Nível A	Pot. Limite Nível B	Pot. Limite Nível C	Pot. Limite Nível D	Classif. Parcial p/ Ambiente
Auditório	1º Pav.	146,99	Auditório/Anfiteatros - Auditório	2 015,2	1 249,41	1 499,29	1 749,18	1 999,06	E
Sala de Apoio									
C. de som									
Esp. Multiuso	1º Pav.	94,8	Hall de Entrada	800,8	758,4	910,08	1 061,76	1 213,44	B
Hall	1º Pav.	235,7	Sala de espera / Convivência	2 230,8	1 414,2	1 697	1 979,88	2 262,72	E
Hall	2º Pav.								
Hall	3º Pav.								
Cafeteria	1º Pav.	20,9	Rest. Lanch./Café	228,8	146,3	175,60	204,82	234,08	D
Copa/Cozinha	1º Pav.	9,07	Copa/Cozinha	105,6	97,05	116,46	135,87	155,28	B
WC Serviço	1º Pav.	70,2	Banheiros	578,6	351	421,2	491,4	561,6	E
Banhº PNE									
Banhº Masc.									
Banhº Fem.									
Banhº PNE									
Banhº Masc.									
Banhº Fem.									
Banhº PNE									
Banhº Masc.									
Banhº Fem.									
Recepção	1º Pav.	133,77	Escritório	1 619,2	1 591,86	1 910,23	2 228,60	2 546,98	B
Secretaria									
Diretoria									
S. de Prof. 1									
S. de Prof. 2									
S. de Prof. 3									
S. de Prof. 4									
S. de Prof. 5									
S. de Prof. 6									
Passarela	1º Pav.	186,6	Circulação – com menos de 2.40m de largura	1 372,8	1 324,86	1 589,83	1 854,80	2 119,77	B
Circulação									
Passarela	2º Pav.								
Circulação									
Passarela	3º Pav.								
Circulação									
Biblioteca	1º Pav.	106	Biblioteca – Área de Leitura	1 408	1 060	1 272	1 484	1 696	C
Lab. de Instalações Elétricas	1º Pav.	491,3	Laboratórios (Med./Ind./Pesq.)	6336	9 580,35	11 496,42	13 412,49	15 328,56	A
Lab. Análise Físico-Química	1º Pav.								
Lab. Sistemas Motrizes	1º Pav.								
Lab. Sistemas Motrizes	2º Pav.								
Lab. Conf. Ambiental	2º Pav.								
Lab. Computação	2º Pav.								
Lab. Qualidade de Energia	2º Pav.								
Oficina	3º Pav.								
Lab. de Aferição	3º Pav.								
Escada	1º Pav.	31,2	Escadas	120	230,88	277,05	323,23	369,40	A
Escada	2º Pav.								
Escada	3º Pav.								
Sala de Aula 1	2º Pav.	105,2	Salas de Aula - Treinamento	1 126,4	1 073,04	1 287,65	1 502,26	1 716,86	B
Sala de Aula 2	2º Pav.								
Sala de reunião	2º Pav.	17,11	Sala de Reunião/Conferência/ Multiuso	281,6	203,61	244,33	285,05	325,77	C
Área total iluminada (m²)		1648,84	Potência total instalada (W)	18 223,8	19 080,96	22 897,14	26 713,34	30 529,52	A
EqNumDPI				5	Classificação Geral				

Fonte: OLIVEIRA, Bruno

Figura 60 – Nível de Eficiência do sistema de iluminação artificial



Fonte: www.labee.ufsc.br/sites/default/files/webprescritivo/index.html

No entanto, o RTQ-C estabelece que, além de atender os limites de potência instalada, deverão também ser respeitados os critérios de controle do sistema de iluminação para a permanência do nível “A”. O primeiro critério observado foi com relação a divisão dos circuitos, onde verificou-se que em cada ambiente havia um dispositivo de controle manual do sistema de iluminação. O segundo pré-requisito faz referência à contribuição da iluminação natural, e como não houveram circuitos independentes para o acionamento das luminárias próximas às janelas este critério não pôde ser atendido. O terceiro e último pré-requisito é relativo ao uso de dispositivo de controle automático para o desligamento da iluminação, porém, este critério destina-se apenas a ambientes com área superior a 250m². Logo, não há ambientes que possuam a obrigatoriedade de atendê-lo.

Com o cumprimento apenas do pré-requisito de divisão dos circuitos o nível “A” de eficiência não pôde ser mantido, reclassificando o sistema de iluminação artificial para nível “C”, com o Equivalente Numérico (EqNumDPI) igual a 3.

4.2.3. Sistema de Condicionamento de Ar

A determinação do nível de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar está em função da etiqueta de eficiência de cada aparelho e do cumprimento dos pré-requisitos. Para isso foi necessário o levantamento quantitativo e qualitativo dos aparelhos, verificando o selo do INMETRO, a potência e o cumprimento dos pré-requisitos em cada um. Na Tabela 42, foram organizados os dados de cada aparelho de condicionamento de ar tipo split, ponderando a eficiência de cada unidade pela potência, obtendo-se um coeficiente de ponderação, o qual multiplicado pelo equivalente numérico de cada aparelho resulta num equivalente numérico já ponderado, que deve ser somado para encontrar um correspondente na tabela de classificação. O resultado obtido foi 2,62, que se encontra na faixa de classificação nível “C” ($\geq 2,5$ a $< 3,5$). O RTQ-C, em sua versão mais recente (2012)

estabelece que para atingir o nível máximo de eficiência, ou seja, nível “A”, o sistema de condicionamento de ar para refrigeração deve cumprir com os pré-requisitos de espessura mínima para isolamento dos dutos de ar, porém, como o resultado obtido não foi nível “A”, não há obrigatoriedade de cumprir com o referido pré-requisito, permanecendo então a classificação nível “C”, com equivalente numérico igual a 3.

Tabela 42 – Determinação do nível de eficiência do sistema de condicionamento de ar e Ponderação $W_{total} \times EqNum_{AC}$

Ambiente	Classificação	EqNum _{AC}	Quantid.	Pot. Unitária (BTU/h)	Pot. Total (BTU/h)	Ponderação	EqNum _{AC} Ponderado
Auditório	E	1	2	58000	186000	0,2158	0,2158
Recepção	A	5	1	9000	9000	0,0104	0,052
Secretaria	A	5	1	18000	18000	0,0209	0,1045
Diretoria	A	5	1	18000	18000	0,0209	0,1045
Biblioteca	C	3	3	30000	90000	0,1044	0,3132
Lab. Inst. Elétricas	B	4	2	24000	48000	0,0557	0,2228
Lab. Análise Físico-Química	E	1	1	35000	35000	0,0406	0,0406
Lab. De Sist. Motrizes (térreo)	E	1	1	58000	58000	0,0673	0,0673
Lab. Conf. Ambiental	E	1	1	58000	58000	0,0673	0,0673
Lab. Computação	C	3	1	30000	54000	0,0626	0,1878
Lab. Qualid. de Energia	B	4	2	24000	48000	0,0557	0,2228
Lab. Sist. Motrizes (1º Pav.)	E	1	1	35000	35000	0,0406	0,0406
Sala de Reunião	B	4	1	18000	18000	0,0209	0,0836
Sala de Aula A	B	4	2	18000	36000	0,0418	0,1672
Sala de Aula B	B	4	2	18000	36000	0,0418	0,1672
Lab. De Aferição	B	4	1	24000	24000	0,0278	0,1112
Sala dos Professores 1	A	5	1	13000	13000	0,0151	0,0755
Sala dos Professores 2	A	5	1	13000	13000	0,0151	0,0755
Sala dos Professores 3	A	5	1	13000	13000	0,0151	0,0755
Sala dos Professores 4	A	5	1	13000	13000	0,0151	0,0755
Sala dos Professores 5	A	5	1	13000	13000	0,0151	0,0755
Sala dos Professores 6	A	5	1	13000	13000	0,0151	0,0755
Total			32	612.000	862.000	1	2,6214
Classificação Geral			C	EqNumAc		3	

Fonte: OLIVEIRA, Bruno

4.2.4. Classificação Geral

4.2.4.1. Bonificações:

Para a determinação da classificação geral é necessário que antes seja verificado se há bonificações referentes às iniciativas que aumentem a eficiência energética da edificação. As bonificações podem acrescentar até 1 ponto à equação geral e podem ser provenientes de uso de equipamentos e sistemas que racionalizem o uso de água economizando até 40% da demanda, do uso de sistemas ou fontes renováveis de energia, tais como painéis fotovoltaicos ou energia eólica para o aquecimento de água e economia de energia do edifício, de sistemas de cogeração, inovações técnicas ou de sistemas que economizem um mínimo de 30% no consumo energético anual.

No levantamento feito na edificação verificou-se a utilização de equipamentos racionalizadores de água (torneiras com fechamento automático e com arejadores) e sistema hidráulico com aproveitamento de água da chuva. No entanto, por erro de execução de projeto a porção do sistema que geraria a economia de água está inoperante, somando-se a isso a inexistência de memorial de cálculo que comprove a economia anual de água em 40%, como exige o RTQ-C. Pontuação referente a outras bonificações também não puderam ser acrescentadas, pois a edificação, além de não possuir demanda por aquecimento de água, não possui nenhum sistema de cogeração que proporcione redução do consumo energético. Até o presente momento o elevador previsto em projeto ainda não foi instalado. Após a sua instalação ele poderá atribuir 0,5 pontos de bonificação à equação geral desde que seja classificado como nível “A” pela norma VDI 4707²⁶.

4.2.4.2. Pontuação Total (PT):

A pontuação geral irá determinar em qual nível de eficiência está classificada a edificação e é obtida pela distribuição dos pesos específicos para cada um dos requisitos parcialmente classificados (Envoltória = 30%, Sistema de iluminação = 30% e Sistema de condicionamento de ar = 40%). Substituindo as variáveis na equação geral (Equação 3):

²⁶ A norma VDI 4707 é uma norma específica para elevadores inspirada na classificação energética dos eletrodomésticos e desenvolvida por uma associação independente de engenheiros alemães. A norma define 7 classes de consumo que vão de A até G em relação ao desempenho energético do elevador, sendo A o sistema mais eficiente. A avaliação é realizada por um organismo independente e para a determinação da classe utilizam-se os dados-chaves: a energia utilizada para um trajeto de referência a energia necessária no modo stand-by. O resultado final da classificação depende do tipo de edifício, do percurso, da frequência de utilização e da carga. (Fonte: <http://www.orona-group.com/portugal/pt/secciones/somos-a-orona/ecoeficiencia/index.php> - Acesso em: 25/01/2013).

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

1.659,22 1.014,72 493,12 0 1 3 3 1.014,72 493,12 0 1 0
 ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓
 ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑
 1.659,22 1.014,72 493,12 0 1 3 3 1.014,72 493,12 0 1 0

PT = 3,41

O resultado foi comparado com os limites de cada nível de eficiência obtendo-se como resultado o nível “C”.

4.2.4.3. Pré-requisitos Gerais:

No processo de classificação do nível de eficiência energética, o resultado final também está em função do cumprimento dos pré-requisitos gerais, que são: a separação dos circuitos elétricos por uso final (iluminação, sistema de ar condicionado, equipamentos e outros) e a apresentação de estimativa da demanda de água quente. Como foi visto anteriormente, o CEAMAZON não possui demanda por sistema de água quente, não havendo, portanto, a necessidade de se cumprir com este pré-requisito. A edificação possui os circuitos elétricos separados por uso final, contudo, mesmo se tratando de uma edificação nova, com três anos, sua construção tem data anterior a publicação do RTQ-C, o que desobriga o cumprimento dos pré-requisitos gerais, sendo mantida a classificação de nível “C”.

4.3. COLETA DE DADOS PARA AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO E LUMÍNICO DE DOIS AMBIENTES

4.3.1. Desempenho Lumínico

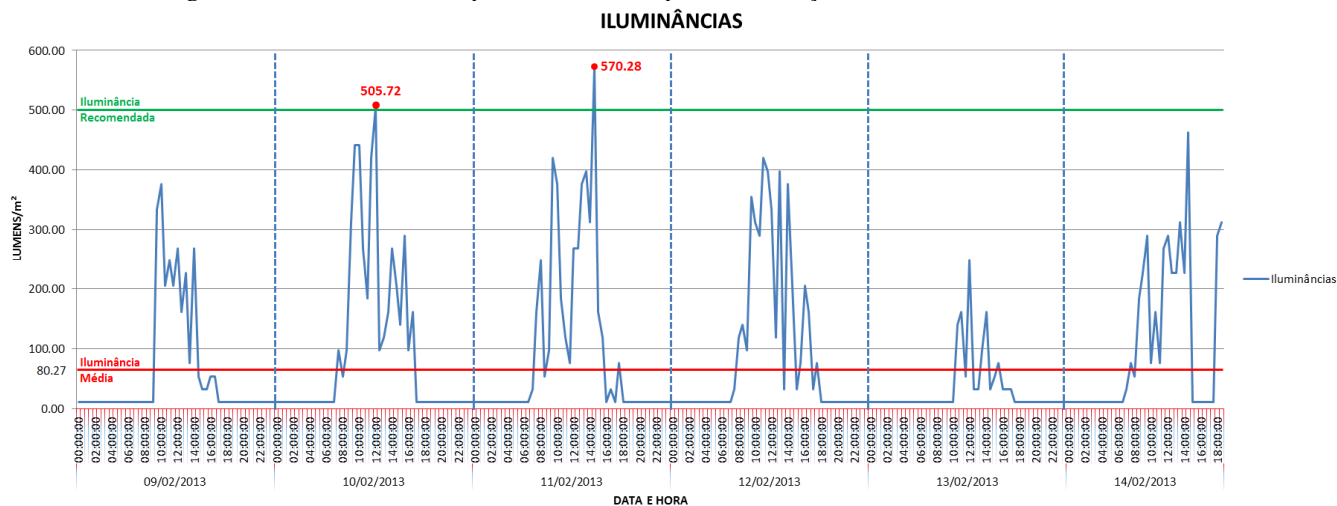
A avaliação do desempenho lumínico consistiu em verificar através de medições os níveis de iluminância proporcionados pela iluminação natural advindos das janelas e portas de vidro, no ponto central do interior dos ambientes em estudo, ou seja, laboratório de conforto ambiental e sala de aula 2.

A NBR 5413, norma que estabelece os valores de iluminâncias médias mínimas para o sistema de iluminação artificial em interiores onde se realizam atividades de comércio, indústria, ensino e esporte, foi adotada como parâmetro de verificação no atendimento dos níveis médios de iluminância. A referida norma recomenda três valores (mínimo, médio e máximo), devendo ser considerado o valor médio. O valor máximo é utilizado sempre que a tarefa se apresenta com refletâncias e contrastes baixos, que os erros são de difícil correção, que o trabalho visual é crítico, que haja alta produtividade ou precisão, e em situações onde a capacidade visual do observador está abaixo da média. Já o valor mínimo é adotado sempre

que a refletância ou contraste são relativamente altos, que a velocidade e/ou precisão não são importantes e a tarefa é realizada ocasionalmente. Para os ambientes avaliados os valores de iluminância recomendados são de 300 lux para as salas de aula e de 500 lux para o plano de trabalho em laboratórios²⁷.

Nas medições realizadas no laboratório de conforto ambiental observou-se níveis de iluminância abaixo do recomendado pela norma em quase 100% dos registros, tendo o seu nível máximo registrado em 570.28 lux, atingido no dia 11/02/2013 às 14:30. O nível mínimo de 10,76 lux, foi registrado nos horários em que não haviam mais a incidência de iluminação natural e a média das ocorrências registrou o valor de 80,27 lux, como mostra o gráfico na Figura 61.

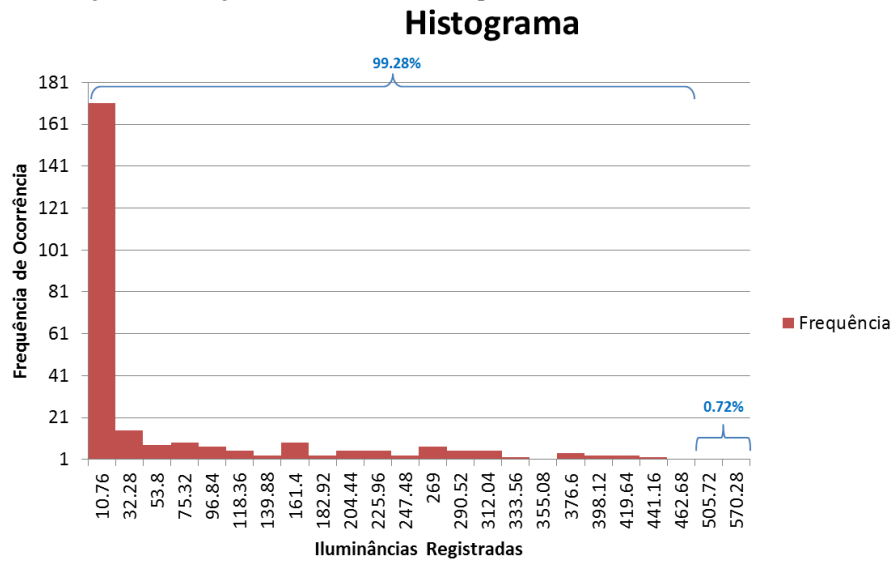
Figura 61 – Gráfico do desempenho lumínico no ponto de medição no laboratório de conforto ambiental



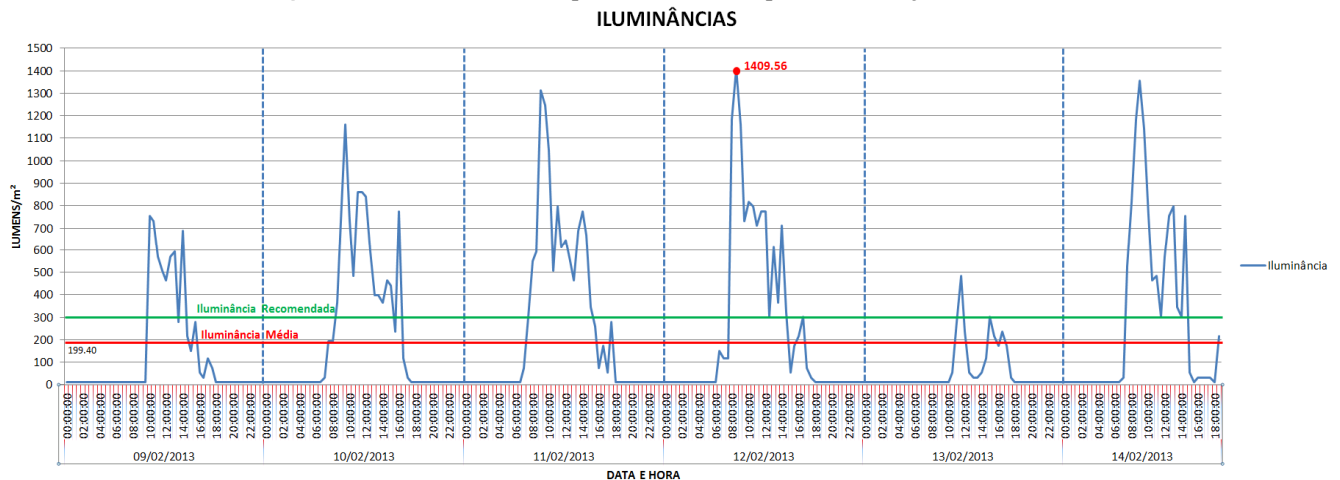
Fonte: OLIVEIRA, Bruno

Entre os 278 registros obtidos (um registro a cada intervalo de 30 minutos) verificou-se que apenas dois deles ultrapassaram o nível de iluminância recomendado, um no dia 10/02/2013 às 12:00 horas e outro no dia 11/02/2012 às 14:30 horas. Os dois registros juntos representam apenas 0,72% de todas as ocorrências, deixando os 99,28% restantes com níveis abaixo do recomendado, conforme mostra o gráfico de frequência de ocorrência na Figura 62.

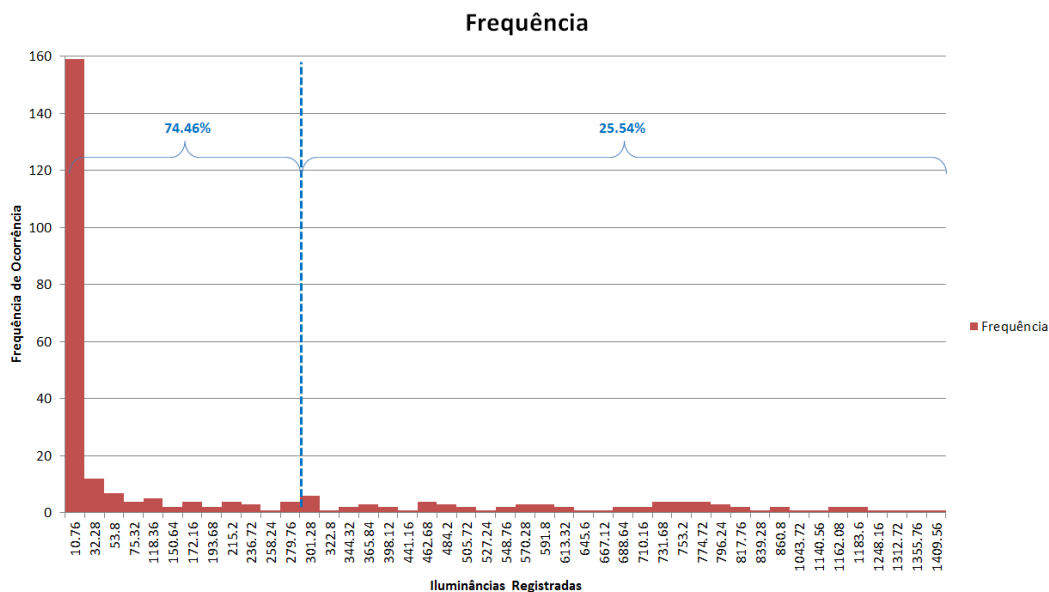
²⁷ NBR 5413, p. 4 (item 5.3.13).

Figura 62 – Histograma dos registros de iluminância no ponto medido no laboratório de conforto ambiental

Os níveis de iluminâncias registrados na sala de aula 2 foram mais elevados, ultrapassando o limite recomendade de 300 lux durante várias horas nos dias de medição, tendo o seu nível máximo registrado de 1409,56 lux, atingido no 12/02/2013 às 8:30 horas. O nível mínimo também foi de 10,76 lux, em função das horas de ausência de iluminação natural, e o valor médio das ocorrências foi de 199,40 lux, conforme está ilustrado no gráfico da Figura 63.

Figura 63 – Gráfico do desempenho lumínico no ponto de medição na sala de aula 2

Dos 278 registros de nível de iluminância da sala de aula 2, 74,46% deles não atingiram o nível recomendado pela norma, conseqüentemente deixando os 25,54% restantes acima do nível recomendado, conforme ilustra o gráfico de frequência de ocorrência na Figura 64.

Figura 64 – Histograma dos registros de iluminância no ponto medido na sala de aula 2

A diferença entre o desempenho lumínico dos dois ambientes analisados é atribuída às suas distintas orientações e posicionamento das aberturas. O laboratório de conforto ambiental possui duas aberturas, uma voltada para o norte e outra para o sul, sendo que na abertura sul ainda há uma obstrução por parte da própria geometria da edificação, que tem o bloco 2 distante poucos metros desta. As aberturas da fachada norte, por sua vez, não recebiam insolação direta durante o período das medições (fevereiro), situação esta que possivelmente mudará entre os meses de abril e setembro, quando a referida fachada receberá incidência direta de radiação solar²⁸. Na sala de aula 2 também há duas aberturas, uma voltada para o leste e outra para o oeste, razão esta dos níveis mais elevados terem sido registrados nas primeiras horas do dia, período em que há incidência direta de insolação através da abertura da fachada leste.

Durante o período das medições observou-se também que na sala de aula 2, entre os horários de 8:00 às 18:00, por várias vezes houveram intervalos com níveis de iluminância acima de 300 lux, sobretudo entre os dias 10/02 e 12/02, onde 71,42% dos registros ultrapassaram o limite recomendado pela norma, conforme é apontado na Tabela 43.

²⁸ Ver Figura 33 que mostra a sobreposição da edificação no diagrama equidistante da trajetória e altitude aparente do sol para a cidade de Belém.

Tabela 43 – Percentual de registros acima de 300 lux no período de 8:00 às 18:00 na sala de aula 2

Data	Nº de registros acima de 300 lux entre 8:00 e 18:00 horas	Percentual de ocorrências
09/02/2013	8	38,09%
10/02/2013	15	71,42%
11/02/2013	15	71,42%
12/02/2013	15	71,42%
13/02/2013	2	9,52%
14/02/2013	14	66,66%

Fonte: OLIVEIRA, Bruno

Com isso verifica-se que os pontos analisados nos dois ambientes, durante o período de avaliação, não atingiram níveis de iluminância que possibilitassem somente a utilização da iluminação natural entre os horários de 8:00 às 18:00h. Os registros indicaram momentos em que as iluminâncias satisfizeram os valores recomendados na norma para cada atividade, mas que eventualmente necessitaria ser complementada pelo sistema de iluminação artificial, sobretudo no laboratório de conforto ambiental cujos níveis que satisfizeram a norma representam menos de 1% do total de registros.

4.3.2. Desempenho Térmico

Para a avaliação do desempenho térmico através da metodologia proposta por Fanger e adotada pela ISO 7730 foi necessário a verificação de dois tipos de fatores:

- Fatores individuais:
 - a. Atividade desempenha pelo indivíduo;
 - b. Tipo de vestuário utilizado pelo indivíduo.
- Fatores ambientais:
 - a. Temperatura do ar;
 - b. Umidade do ar;
 - c. Velocidade do ar;
 - d. Temperatura média radiante.

A metodologia de cálculo consiste nos seguintes pontos:

- Quantificação dos parâmetros individuais e ambientais;
- Substituição dos valores encontrados na equação de conforto térmico para a determinação dos índices relacionados à acumulação energética no corpo;

- Com base no valor da acumulação energética no corpo e no metabolismo determina-se o valor do PMV (Predicted Mean Vote) através de uma correlação. O PMV não é mais do que uma escala quantitativa da sensação de calor ou frio.
- O percentual de pessoas insatisfeitas termicamente, PPD, é determinado com base no valor de PMV, através de uma correlação.

A análise dos fatores individuais relativos às atividades do indivíduo está relacionada com o esforço físico. Para uma mesma atividade, o metabolismo varia principalmente com a área corporal, por isso é geralmente definido nas unidades W/m^2 . Uma forma de simplificar a análise do metabolismo consistiu na definição da unidade “met”, onde 1 met corresponde ao metabolismo de uma pessoa sentada e em repouso ($1\text{ met} = 58,15W/m^2$). A norma ISO 7730 já apresenta valores tabelados para algumas atividades, conforme mostra a Tabela 44. Para a avaliação do laboratório de conforto e da sala de aula 2 foi adotado o valor de 1,2 met (ou de $70 W/m^2$), correspondendo à atividade sedentária.

Tabela 44 – Valores de Metabolismo para várias atividades

Tipo de Atividade	Metabolismo (met)	Metabolismo (W/m^2)
Reclinado	0,8	46
Sentado, relaxado	1,0	58
Atividade Sedentária (escritório, escola, etc.)	1,2	70
Fazer compras, atividades laboratoriais	1,6	93
Trabalhos domésticos	2,0	116
Caminhando em local plano a 2 km/h	1,9	110
Caminhando em local plano a 3 km/h	2,4	140
Caminhando em local plano a 4 km/h	2,84	165
Caminhando em local plano a 5 km/h	3,44	200

Fonte: ISO 7730, 2005.

O parâmetro individual de isolamento térmico por tipo de vestimenta equivale a uma resistência interposta entre o corpo e o meio, pois mantém junto ao corpo uma camada de ar mais aquecido, conforme seja mais ou menos isolante, conforme se ajusta ao corpo de acordo com a porção do corpo que cobre. Semelhantemente ao metabolismo, a vestimenta também possui unidade própria, o “clo”, que corresponde a resistência térmica de $0,155m^2 \cdot ^\circ C/W$ (equivalente a um terno completo). A Tabela 45 apresenta o índice individual de resistência térmica para as principais peças de roupa, cujos valores devem ser somados de acordo com a composição do vestuário para a obtenção do valor do índice representativo deste parâmetro (I_{cl}). Os itens em destaque representam a composição adotada de vestimentas dos usuários dos dois ambientes analisados, cujo o total é de 0,52 clo.

Tabela 45 – Índice de resistência térmica para vestimentas

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

Fonte: ISO 7730, 2005

Quanto aos fatores ambientais, através das medições pode-se obter os valores para velocidade de movimentação do ar, temperatura do ar, umidade relativa e temperatura radiante média. Porém, com relação à velocidade de movimentação do ar no ponto analisado, em ambos os ambientes verificou-se fluxos muito baixos, insuficientes para a movimentação da paleta do anemômetro e do registro pelo anemômetro de fio quente, indicando que a velocidade de movimentação do ar estava abaixo 0,1 m/s, que era o mínimo registrado por ambos os instrumentos. Contudo, sabe-se que o volume de ar no interior dos ambientes não é estático, pois se desloca pela diferença de temperatura, onde o ar quente sobe e o frio desce (convecção natural), portanto será adotado para a equação de conforto o valor de 0,05m/s.

Na Tabela 46 estão organizados os registros máximos, mínimos e as médias de temperatura do ar, temperatura de globo e umidade relativa do ar do laboratório de conforto ambiental e da sala de aula 2. Nas Figura 65 a Figura 70 estão os gráficos indicadores do desempenho térmico e de umidade durante o período de medição em ambos os ambientes.

Tabela 46 – Temperatura do ar, de globo e umidade relativa do laboratório de conforto e da sala de aula 2

Ambiente	Temperatura do ar (°C)			Temperatura de Globo (°C)			Umidade Relativa (%)		
	Máxima	Mínima	Média	Máxima	Mínima	Média	Máxima	Mínima	Média
LabConf	29,10	24,01	26,65	29,50	24,40	26,84	87,3	72,1	82,00
Sala de Aula 2	30,31	22,86	26,90	30,71	23,24	26,95	87,2	61,3	77,97

Figura 65 – Temperatura do ar no laboratório de conforto ambiental.

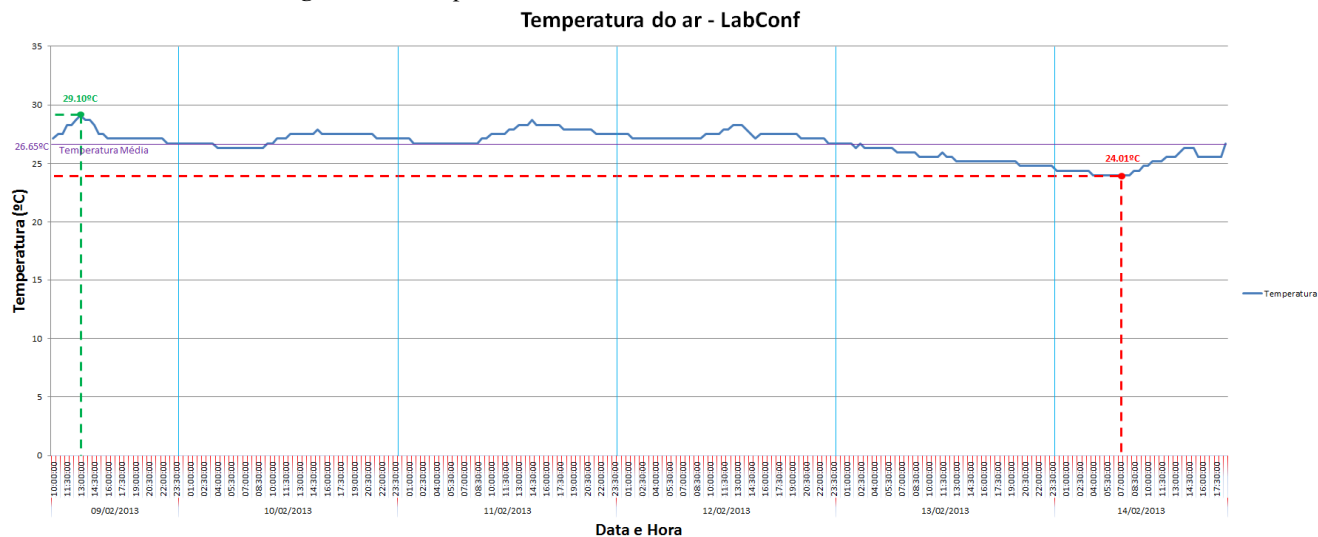


Figura 66 – Temperatura de globo no laboratório de conforto ambiental

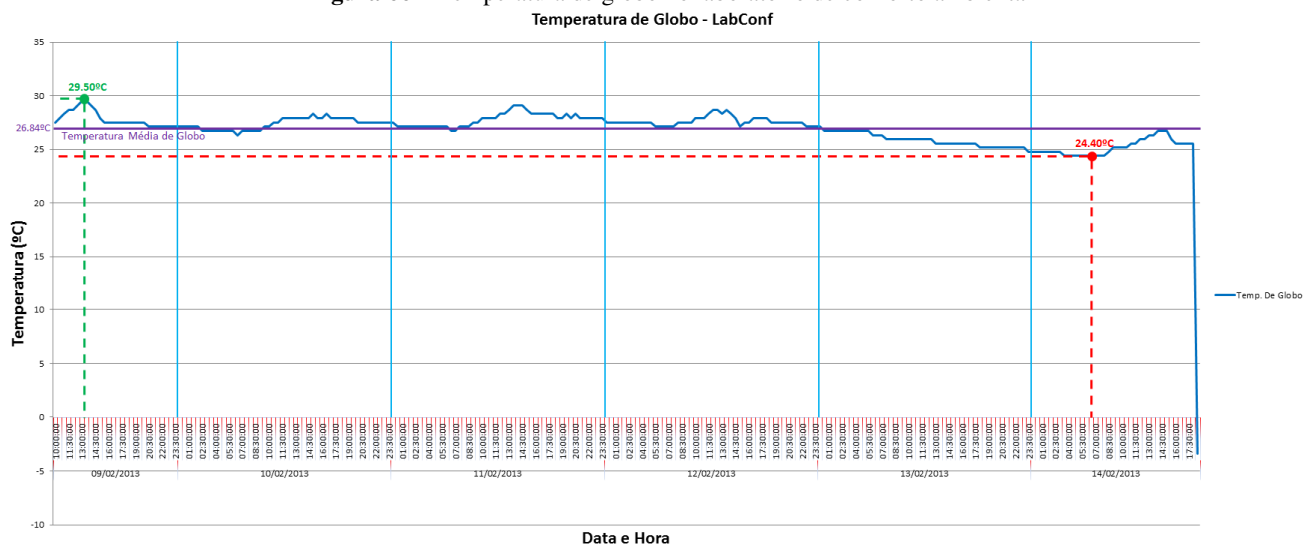


Figura 67 – Umidade relativa do ar no laboratório de conforto ambiental

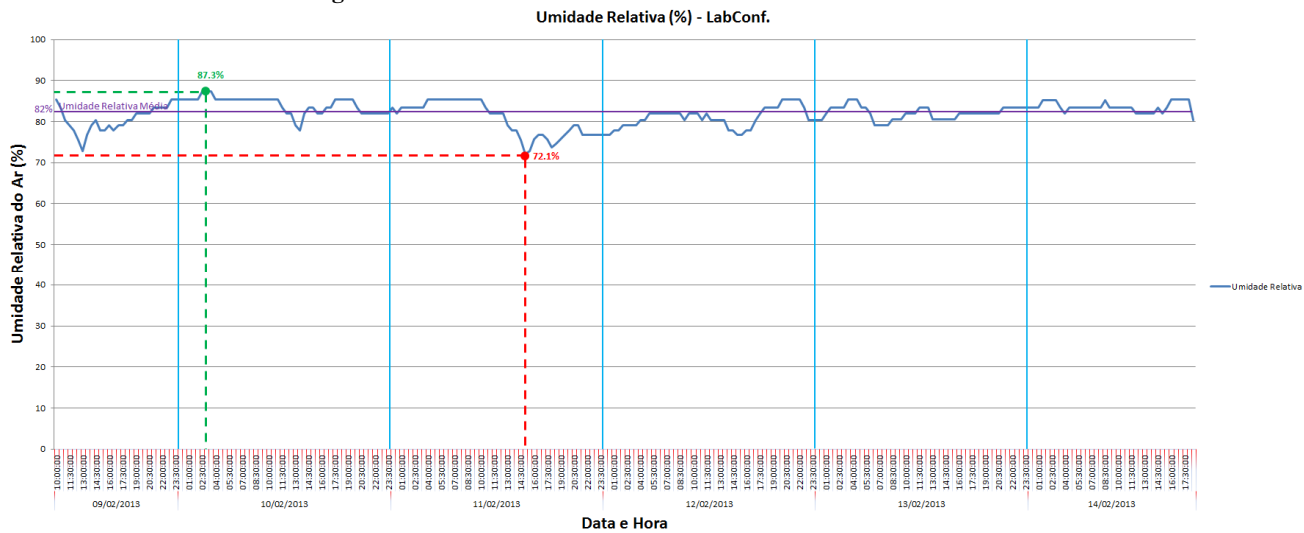


Figura 68 – Temperatura do ar na sala de aula 2
Temperatura do ar - Sala de Aula 2

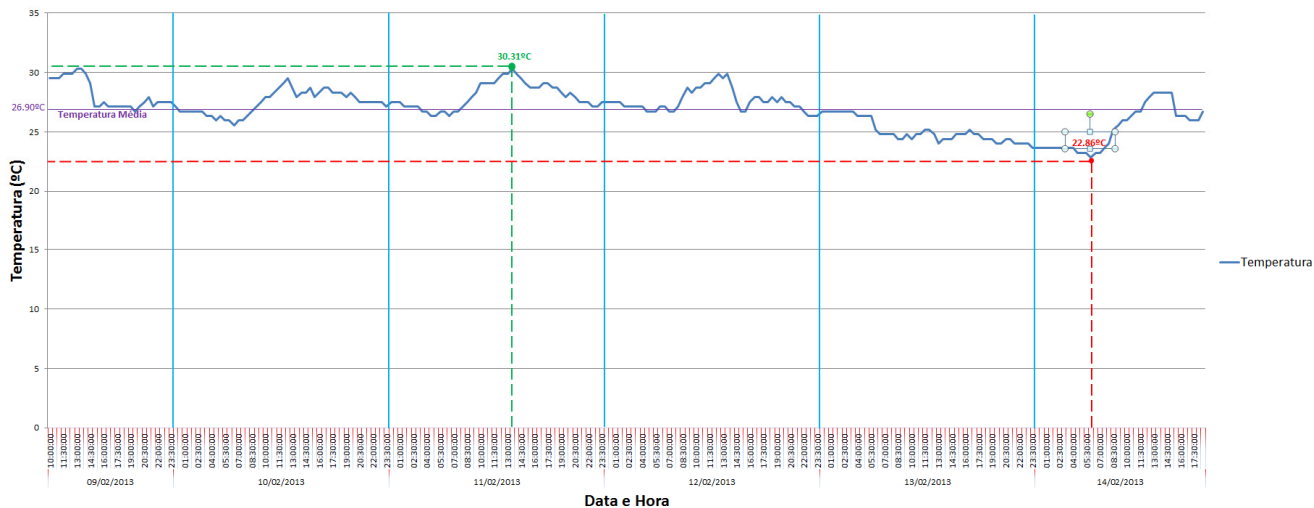


Figura 69 – Temperatura de globo na sala de aula 2
Temperatura de Globo - Sala de Aula 2

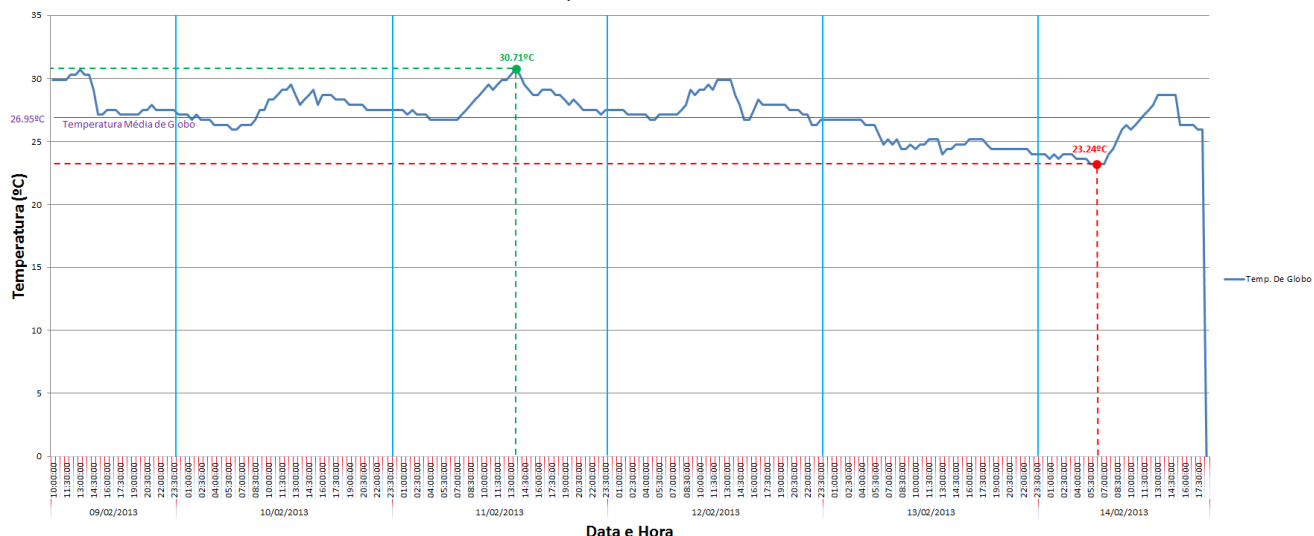
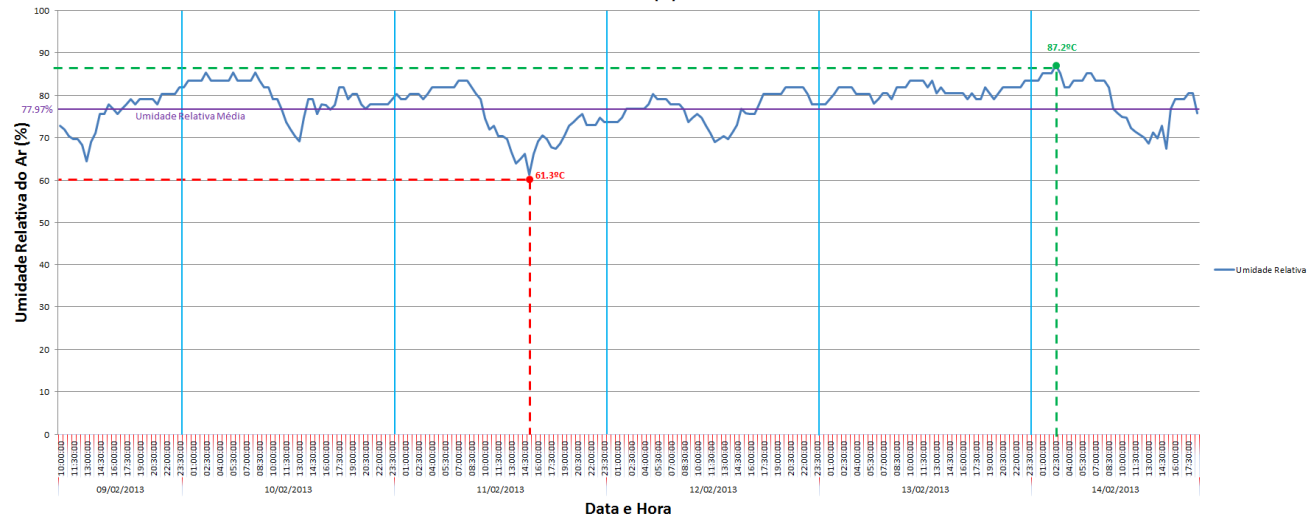


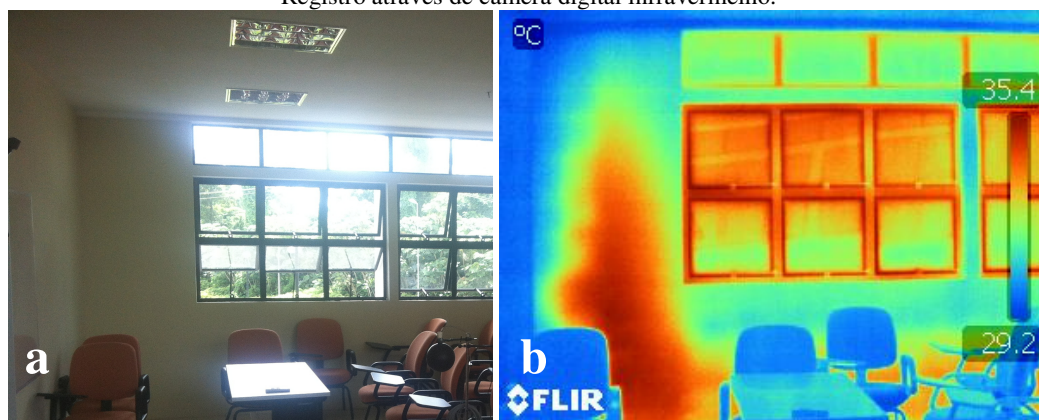
Figura 70 – Umidade relativa do ar na sala de aula 2
Umidade Relativa (%) - Sala de Aula 2



A temperatura do ar é a principal variável do conforto térmico. A sensação de conforto baseia-se na perda de calor do corpo pelo diferencial de temperatura entre a pele e o ar. O calor produzido pelo corpo através do metabolismo possui perdas menores quando a temperatura do ar está alta e maiores quando a temperatura do ar está baixa. No laboratório de conforto ambiental as temperaturas mativeram-se relativamente estáveis com uma variação de $5,09^{\circ}\text{C}$ entre o registro máximo ($29,10^{\circ}\text{C}$ às 13:00 horas do dia 09/02/2013) e mínimo ($24,01^{\circ}\text{C}$ entre as 4:00 e 8:00 horas do dia 14/02/2013), tendo como temperatura média do ar $26,65^{\circ}\text{C}$. Esta baixa amplitude térmica é atribuída às orientações das esquadrias (uma para o norte e outra para o sul) que no período da medição não permitiam incidência direta da insolação, às condições de nebulosidade (céu encoberto) e aos materiais constituintes da superfície da envoltória voltada para oeste, que foi confeccionada com dupla camada de tijolo cerâmico separadas por uma camada de ar.

A temperatura do ar na sala de aula 2 apresentou menor estabilidade, com uma variação de $7,45^{\circ}\text{C}$ entre o registro máximo ($30,31^{\circ}\text{C}$ às 13:30 horas do dia 11/02/2013) e o registro mínimo ($22,86^{\circ}\text{C}$ às 6:00 horas do dia 14/02/2013), sendo a temperatura média do ar $26,90^{\circ}\text{C}$. A sala de aula 2, por sua vez, possui duas superfícies de envoltória voltadas para incidência direta da radiação solar (fachada leste e oeste), deixando-as expostas durante várias horas do dia e conseqüentemente sobreaquecendo as camadas de ar interno. A Figura 71 exemplifica este fenômeno através de registro termográfico da superfície interna que está voltada para o leste, onde pode-se observar parcelas da parede com sobreaquecimento, atingindo a temperatura de $35,4^{\circ}\text{C}$ em alguns pontos.

Figura 71 – Parede voltada para o leste na sala de aula 2. (a) registro através de câmera digital convencional; (b) Registro através de câmera digital infravermelho.



A temperatura média radiante representa a temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual a troca de calor por radiação é igual ao ambiente real não uniforme (MARINOSKI, 2007). No laboratório de conforto ambiental a temperatura de globo

acompanhou o mesmo comportamento do gráfico da temperatura do ar, com uma variação de 5,1 °C entre o registro máximo (29,50 °C entre as 10:00 e 11:00 horas do dia 09/02/2013) e o registro mínimo (24,40°C entre as 4:00 e as 8:00 horas do dia 14/02/2013), sendo a temperatura média 26,84°C. Na sala de aula 2 o comportamento também foi muito semelhante, porém com uma variação de 7,47°C entre o registro máximo (30,71°C às 13:30 horas do dia 11/02/2013) e o registro mínimo (23,24°C entre as 5:30 e 7:00 horas do dia 14/02/2013).

Os registros das temperaturas de globo, juntamente com a temperatura do ar, foram utilizados para o cálculo da temperatura média radiante, que pode ser obtido por duas fórmulas, uma para convecção forçada (Equação 14) e outra para convecção natural, a qual é mostrada a seguir (Equação 15).

$$\bar{t}_r = \sqrt[4]{(t_g + 273)^4 + 2,5 \times 10^8 \times V^{0,6} \times (t_g - t_a)} - 273 \quad \text{(Equação 14)}$$

$$\bar{t}_r = \sqrt[4]{(t_g + 273)^4 + 0,4 \times 10^8 \times \sqrt{|t_g - t_a|} \times (t_g - t_a)} - 273 \quad \text{(Equação 15)}$$

Onde:

t_r = é a temperatura média radiante;

t_g = é a temperatura de termômetro de globo (°C);

t_a = é a temperatura do ar (°C);

A umidade relativa do ar, conjuntamente com a velocidade de movimentação do ar, intervém na perda de calor por evaporação. Como aproximadamente 25% da energia térmica gerada pelo organismo é eliminada sobre a forma de calor latente (10% por respiração e 15% por transpiração) é importante que as condições ambientais favoreçam essa perda (MARINOSKI, 2007). No laboratório de conforto ambiental a umidade relativa do ar apresentou variação de 15,42% entre o registro máximo (87,3% entre as 2:30 e 3:30 do dia 10/02/2013) e o registro mínimo (72,1% às 15:00 horas do dia 11/02/2013).

Após a verificação dos fatores individuais e ambientais, as variáveis foram organizadas na Tabela 47 para melhor visualização e os dados inseridos no software Analysis 1.5 (Figura 72), desenvolvido pelo laboratório de eficiência energética em edificações da universidade de Santa Catarina, como meio de simplificar e automatizar o processo de cálculo, haja vista que a equação de conforto é complexa e de difícil manipulação.

Tabela 47 – Variáveis envolvidas na equação de conforto

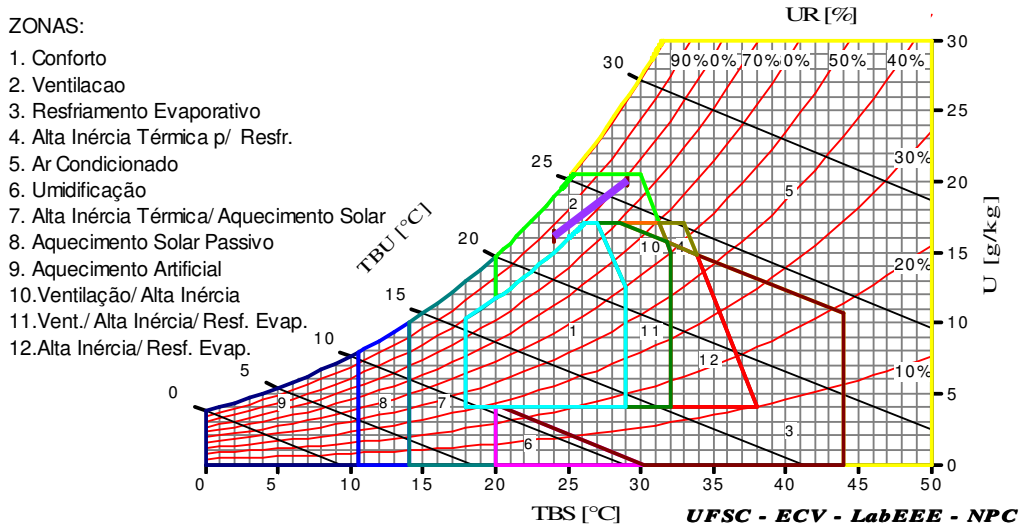
Fatores individuais	Laboratório conforto ambiental	Sala de aula 2
Temperatura média do ar	26,65 °C	26,90 °C
Temperatura média de globo	26,84 °C	26,95 °C
Umidade relativa média	82,00%	77,97%
Velocidade média do ar	0,05 m/s	
Atividade metabólica	70W/m ²	
Vestimenta	0,52 clo	

Figura 72 – Tela de entrada dos dados do software Analysis 1.5

Para o laboratório de conforto ambiental o resultado obtido para o voto médio predito (PMV) foi de 0,9 e com 23,6% de pessoas insatisfeitas (PPD) por calor. Para a sala de aula 2 o resultado do PMV também foi de 0,9, mas com um percentual de pessoas insatisfeitas um pouco maior, de 23,9% também por calor.

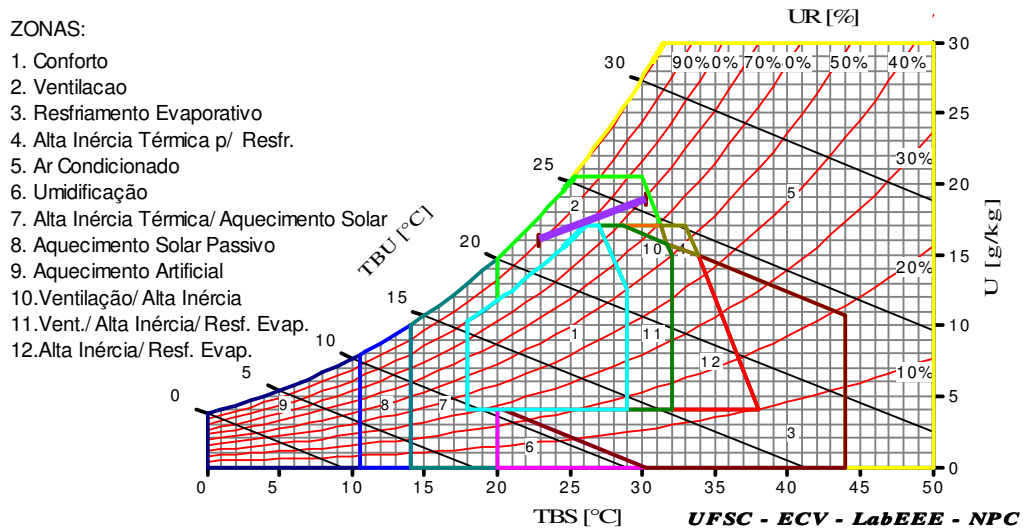
Os dados climáticos de cada ambiente analisado foram inseridos no software Analysis Bio para a identificação da estratégia bioclimática adequada para cada um. Na Figura 73 estão plotados os dados de medição do laboratório de conforto ambiental na carta bioclimática de Givoni, onde verifica-se que o resultado (segmento de azul escuro) está na zona de estratégia bioclimática para ventilação (zona 2).

Figura 73 – Carta bioclimática plotada no software Analysis Bio para o laboratório de conforto ambiental



Na Figura 74 estão plotados os dados de medição da sala de aula 2 na carta bioclimática de Givoni, onde verifica-se que o resultado também está na zona de estratégia bioclimática para ventilação (zona 2).

Figura 74 - Carta bioclimática plotada no software Analysis Bio para a sala de aula 2



Em ambos os ambientes analisados verificou-se que a estratégia bioclimática foi de ventilação, indicando um potencial de exploração de estratégias de condicionamento passivo para proporcionar combinações de temperatura e umidade dentro da zona de conforto térmico do referido gráfico.

4.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.4.1. Classificação através do RTQ-C

Após o processo de classificação do nível de eficiência energética do CEAMAZON através do método prescritivo, observou-se que a envoltória apresentou ótimo desempenho, com um indicador de consumo que a classificaria com nível “A” de eficiência, mas o não cumprimento dos pré-requisitos de transmitância térmica para a cobertura e de absorvância térmica para as paredes fizeram com que a sua classificação fosse rebaixada para nível “B”, embora seus valores estivessem muito próximo dos limites.

No levantamento da transmitância da cobertura, a parcela constituinte de laje maciça revestida com manta asfáltica apresentou o maior valor (3,57 w/m².K). Para que o valor da transmitância final seja reduzido é necessário intervir justamente nessa parcela da cobertura da envoltória. Uma solução viável seria revestir os seus 68,66m² com outro material de transmitância baixa ou recobri-lo com tinta de tonalidade clara.

No levantamento da absorvância das paredes verificou-se que a edificação possui grandes áreas com acabamento em pintura na cor vermelha ($\alpha = 0,74$), fazendo com que o valor da absorvância final ultrapassasse o limite. A mudança da tonalidade, ou redução da área coberta por tinta vermelha, reduziria a absorvância final, atendendo o limite estabelecido pelo regulamento. Essas alterações atenderiam o pré-requisito da envoltória e permitiriam que seu nível de classificação permanecesse em “A”.

A avaliação do sistema de iluminação artificial apresentou resultados satisfatórios, com nível “A” de eficiência na sua classificação geral, embora na análise individual alguns ambientes tenham apresentado nível “E”. No entanto, o resultado não pôde ser mantido devido o não cumprimento do pré-requisito de contribuição de iluminação natural com a utilização de um circuito independente para as luminárias próximas às janelas. Com relação ao requisito de desligamento automático, não houve obrigatoriedade de atendê-lo, haja vista que as áreas dos ambientes são inferiores às exigidas no regulamento. No geral, a geometria da edificação oferece condições propícias para o aproveitamento da iluminação natural em conjunto com o sistema artificial, pois há largas aberturas voltadas para um exterior livre de obstáculos em praticamente todos os ambientes. A incorporação dessa estratégia através da reorganização dos circuitos e o controle individual das luminárias junto às janelas seria o suficiente para garantir o atendimento ao pré-requisito de iluminação natural e a manutenção da classificação máxima de eficiência.

O sistema de condicionamento de ar analisado apresentou como resultado nível “C” em função da baixa classificação dos aparelhos de ar condicionado. Para este resultado não há obrigatoriedade em atender os pré-requisitos. A atribuição do nível “A” está condicionada às alterações dos equivalentes numéricos de cada ambiente, que somente poderão ser alterados com a substituição dos equipamentos por outros energeticamente mais eficientes e ao cumprimento dos pré-requisitos.

4.4.2. Análise Crítica do Regulamento

O processo de avaliação do desempenho energético através do RTQ-C foi relevante no sentido de estabelecer uma aproximação ao método prescritivo proposto e conseqüentemente uma melhor compreensão dos parâmetros climáticos e da edificação envolvidos no procedimento avaliativo. Contudo, foi possível observar aspectos passíveis de uma reflexão crítica no que diz respeito a aplicabilidade do regulamento, grau de dificuldade na obtenção dos dados para avaliação de edifícios (tanto na etapa de projeto quanto depois de executados) e grau de confiabilidade dos resultados obtidos. Considera-se a verificação desses aspectos um procedimento enriquecedor na etapa de familiarização do regulamento por parte dos profissionais envolvidos (engenheiros e arquitetos), tendo em vista que o mesmo está em vigor de forma voluntária, ou seja, a tempo de inserir possíveis modificações a fim de torná-lo um instrumento cada vez mais confiável na garantia da eficiência energética de edificações.

A aplicação do RTQ-C, independente do método de avaliação adotado, prescritivo ou de simulação, envolve uma grande quantidade de informações da edificação, e elas devem ser detalhadas e organizadas afim de se agilizar a etapa de levantamento de dados. Porém, muitas dessas informações não são comumente apresentadas nos projetos e nem nos cadernos técnicos de especificações (tais como percentual de abertura da fachada, volumes, área de envoltória, etc.), dificultando sua obtenção. Para edificações existentes, ainda há o fator tempo, onde muitas vezes as informações podem estar desatualizadas. O processo de levantamento “in loco” é possível, mas também passível de limitações de acesso pelas condições do entorno ou da própria geometria da edificação, demandando maior esforço e tempo para obtenção dos dados, podendo encarecer o processo.

O regulamento envolve o conhecimento das propriedades térmicas dos materiais de construção, mas essa exigência esbarra na limitação da disponibilidade dessas informações por parte da indústria da construção civil e dos órgãos reguladores, o que pode comprometer a qualidade da classificação e/ou retardar o processo com a necessidade de medições ou análises laboratoriais. Atualmente, as características térmicas de alguns materiais estão

disponíveis em bibliografias e em normas, mas o banco de dados ainda é muito limitado frente a quantidade de materiais disponíveis no mercado. O levantamento da absorvância solar das superfícies opacas é um bom exemplo, pois o RTQ-C recomenda a adoção dos valores contidos na NBR 15220-2, a qual apresenta valores para apenas 12 tipos de materiais e 7 cores de pintura²⁹. A edificação que possuir um material sem correspondente na norma terá que obtê-la através do envio de amostras para laboratórios especializados ou através de medições “in loco”, gerando a necessidade de investimento em mais laboratório para atender a demanda gerada pelo RTQ-C. Uma solução possível seria incentivar os fabricantes a fornecerem as propriedades térmicas de seus materiais em suas especificações técnicas.

Apesar de simplificado, o método prescritivo reúne certo grau de complexidade na medida que exige o exímio detalhamento dos elementos componentes dos requisitos definidos no RTQ-C. Aliado a isso, ressalta-se que a maioria dos profissionais envolvidos no processo ainda não está habituada a trabalhar com variáveis referentes às propriedades térmicas dos materiais e artifícios projetuais para melhor adequar a edificação ao clima, como por exemplo, a utilização de elementos de proteção solar, que são considerados no regulamento para a obtenção dos ângulos verticais e horizontais de sombreamento. Contudo, a simples utilização de elementos de proteção solar não garante melhorias nas condições de conforto ambiental e eficiência energética. A correta utilização envolve aspectos de orientação da fachada, dimensionamento e criteriosa especificação dos materiais de sua composição. No RTQ-C não há exigência de comprovação da eficiência desses elementos, podendo inclusive, soluções distintas gerarem o mesmo valor de ângulo de sombreamento, ou soluções idênticas com orientações diferentes adotando também o mesmo valor de ângulo para duas situações antagônicas, ou até mesmo um brise mal empregado poderá funcionar como coletor de carga térmica ao invés de proteger a abertura. Para outros casos, o regulamento não considera que em algumas regiões frias, aberturas desprotegidas podem significar maior conforto e redução do consumo energético com aquecimento artificial. Provavelmente o regulamento pressupõe a correta utilização desses elementos por parte dos projetistas, mas na realidade poucos são os profissionais que realizam estudos de insolação e mascaramento de sombras para empregá-los corretamente.

O RTQ-C atribui unicamente ao projetista a responsabilidade de atender as normas da ABNT e estar atento às condições de conforto ambiental geradas pelas soluções de projeto adotadas. Para o método prescritivo não há nenhuma exigência de comprovação da garantia

²⁹ NBR 15220-2, p. 8.

das condições satisfatória de conforto ambiental na edificação, ou seja, em alguns casos é possível que uma classificação nível A nem sempre garanta na operação do edifício uma alta eficiência energética. Semelhantemente ocorre para os sistemas de iluminação artificial e de condicionamento de ar, os quais são avaliados somente pela ótica de seu consumo energético, podendo os mesmos estarem subdimensionados em função de querer atingir níveis de classificação mais elevados. Para o sistema de iluminação, por exemplo, a avaliação é feita pela metodologia de densidade de potência, que, embora no método das atividades possua valores distintos de acordo com a atividade do ambiente, não considera equipamentos específicos que determinados ambientes podem requerer em função da saúde ou do conforto e que possuam desempenhos energéticos diferentes, tais como luminárias com aletas ou difusores para evitar ofuscamentos. Situações como essa podem influenciar projetistas a especificarem equipamentos pelo nível que desejam atingir, sem levar em consideração as especificidades do projeto, comprometendo sua qualidade.

Ainda que o RTQ-C não tenha a propriedade de avaliar o projeto luminotécnico, ele poderia ser um instrumento valioso na observância dos valores mínimos de iluminância de interiores, estipulados pela NBR 5413. Se assim fosse, um ambiente que não estivesse com sua iluminância de acordo com a norma, teria seu equivalente numérico (EqNum) rebaixado, contribuindo para alterar a classificação final do sistema de iluminação artificial. Para os níveis de iluminância maiores que os recomendados, estes acabariam por influenciar de forma direta os níveis de eficiência do referido sistema. No que diz respeito a adoção de estratégias de aproveitamento da iluminação natural, a única exigência que se faz é prover um controle para o acionamento independente da fileira de luminárias mais próxima a janela de forma a propiciar o aproveitamento da iluminação natural disponível, e não faz referência a norma NBR 15215-3, que estabelece um procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos. O estudo da iluminação natural e o correto dimensionamento das aberturas irão influenciar outros parâmetros considerados na avaliação, como por exemplo o percentual de abertura na fachada, que deve ser estudado ainda na fase de concepção para buscar a melhor relação entre dimensionamento e orientação, a fim de evitar a incidência direta da radiação solar em edificações inseridas em clima quente e úmido.

Com a familiarização ao processo de etiquetagem espera-se que a implementação de princípios de arquitetura bioclimática e de eficiência energética de edificações se tornem uma prática cada vez mais comum e melhor explorada pelo mercado da construção civil, sobretudo ainda na fase de concepção de projeto. Porém, os métodos proposto pelo RTQ-C demandam

alto nível de informações, tanto gráficas quanto textuais, correspondendo praticamente à fase de projeto executivo, dificultando a utilização desses métodos nas fases iniciais de estudos de soluções e concepção formal. O método de simulação computacional ainda agrega a dificuldade em manusear softwares complexos para realização dos cálculos e ainda pouco disseminados no mercado, sendo ainda um procedimento restrito a poucos escritórios de consultoria de desempenho energético, órgãos de pesquisa e laboratórios das universidades federais. Atualmente, a fim de contribuir para a simplificação do processo de avaliação, os centros de pesquisa têm reunido esforços no desenvolvimento de ferramentas que auxiliem no processamento dos dados da edificação, como por exemplo:

- **WebPrescritivo:** Ferramenta desenvolvida pelo laboratório de eficiência energética de edificações da universidade de Santa Catarina, utilizado neste trabalho no cálculo dos requisitos de envoltória, iluminação artificial e condicionamento de ar;
- **Software S3E:** Ferramenta de simulação que permite avaliar o nível de eficiência energética de edificações comerciais segundo o RTQ-C, tendo como proposta o auxílio nas fases iniciais de projeto quando são tomadas as decisões de maior impacto;
- **Software Domus:** Software de simulação do desempenho energético de edificações que também auxilia nas decisões de projetos energeticamente eficientes.

A criação e utilização dessas ferramentas representam um avanço no sentido de aproximar o conceito de eficiência energética de edificações às etapas de concepção arquitetônica, principalmente para edificações com volumetrias mais complexas e com grande diversidade de elementos contrutivos que demandam um intervalo de tempo maior para o levantamento de dados.

Apesar de vigorar voluntariamente, o surgimento de um regulamento em eficiência energética de edificações representa um passo importante para a mudança de postura dos arquitetos e construtores frente às transformações econômicas e ambientais tanto na esfera nacional quanto internacional. O levantamento das experiências internacionais serviu para comprovar que o aumento da eficiência energética de edificações gera benefícios sociais, econômicos e ambientais transpondo as barreiras do setor da construção. No momento que a certificação passar a ser compulsória a expectativa é que haja uma mudança de paradigma na concepção dos projetos, onde a integração com a sustentabilidade será ainda mais latente, gerando mudanças no processo de projeto e integrando profissionais especializados às decisões cruciais, as quais deverão, preferencialmente, ser tomadas no início da etapa

projetual. Essas mudanças tenderão a pressionar a indústria da construção civil para o desenvolvimento de materiais comprometidos em atender requisitos sustentáveis ao mesmo tempo que forçará o investimentos na capacitação profissional e revisão dos currículos nos cursos de arquitetura e engenharia nas universidades.

O regulamento, embora com alguns parâmetros passíveis de revisão, é o início de um novo conceito de projetar edifícios no Brasil, que intrinsecamente também deixa um questionamento sobre a qualidade dos empreendimentos, onde espera-se que as estratégias de eficiência energética não propiciem a disseminação de um conceito errôneo de projetos com baixo consumo energético, preocupados apenas em atender determinando nível de classificação e descomprometidos com as peculiaridades de cada projeto e com o conforto de seus usuários.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho analisou a aplicação do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética no edifício do CEAMAZON através do método prescritivo. O estudo analítico permitiu uma aproximação aos procedimentos de avaliação do referido regulamento, correlacionando-os com as variáveis físicas da edificação e climáticas da região onde está inserida, gerando reflexões passíveis de serem desenvolvidas para o aperfeiçoamento da metodologia de avaliação.

Na classificação geral do edifício o resultado obtido foi nível “C”, estando ele em função das avaliações individuais dos requisitos de envoltória, iluminação artificial, condicionamento de ar e atendimento aos pré-requisitos. A avaliação da envoltória obteve nível “A” de classificação no cálculo do indicador de consumo, porém o não cumprimento do pré-requisito de absorvância das paredes e de transmitância da cobertura a rebaixou para nível “B”. O sistema de iluminação artificial teve como resultado também nível “A”, mas foi rebaixado para nível “C” por não atender o pré-requisito de contribuição de iluminação natural. No sistema de condicionamento de ar o resultado foi nível “C” devido a baixa eficiência dos equipamentos de ar condicionado. Apesar da não observância dos pré-requisitos a edificação apresentou bom desempenho e um elevado potencial de aumento do seu nível de classificação energética, pois exige alterações de baixo impacto para atender os pré-requisitos de cada sistema.

Contudo, por mais que a edificação tivesse recebido classificação máxima, partiu-se do princípio que o elevado desempenho energético de edificações só é plenamente satisfeito quando são garantidas condições satisfatórias de conforto aos seus usuários. As avaliações realizadas “in loco” subsidiaram a avaliação de conforto térmico através do método PMV e PPD e a avaliação do desempenho lumínico em dois ambientes da edificação. As medições de temperatura do ar nos dois ambientes analisados apresentaram-se com baixa amplitude térmica (com variações entre 30,31°C e 22,86°C) e elevada umidade relativa (com máximas de 87,2% e mínimas de 61,3%), variáveis essas características de clima quente e úmido, sobretudo no período em que foram realizadas as medições (fevereiro de 2013), com chuvas frequentes e registros de temperaturas mínimas anuais. Sob essas condições, obteve-se um resultado para o voto médio predito (PMV) de 0,9 para o laboratório de conforto ambiental e para a sala de aula 2, com um percentual de pessoas insatisfeitas de 23,6% e 23,9% para o laboratório de conforto ambiental e sala de aula 2, respectivamente. Os dados coletados em ambos os ambientes e plotados na carta bioclimática indicaram que através de estratégias de

condicionamento passivo é possível estabelecer combinações de temperatura de umidade que proporcionem conforto térmico aos usuários. A própria arquitetura da edificação propicia que artifícios de ventilação cruzada possam ser adotados em complementação ao sistema de condicionamento de ar, pois na maioria dos ambientes existem aberturas em lados opostos. O potencial de aproveitamento da luz natural teve como indicativo as medições de iluminância no ponto central de cada ambiente analisado e a verificação do percentual de registros que atenderam os níveis recomendados pela NBR 5413. Como resultado foi observado que o laboratório de conforto teve apenas dois registros, dos 278, que atenderam a norma. Em contra partida, na sala de aula 2, 71 dos 278 registros atingiram os níveis recomendados, correspondendo a um período de aproximadamente 6 horas diárias. Com uma situação mais favorável na sala de aula 2, a iluminação natural atenderia uma porção de horas sem que houvesse a necessidade de complementação de iluminação artificial, representando um potencial de economia energética.

A avaliação através do RTQ-C permitiu a constatação de que é um instrumento valioso no desenvolvimento de projetos sustentáveis, porém ainda de elevada complexidade. Para resultados mais precisos e confiáveis é necessário a adoção da metodologia de simulação, a qual envolve um árduo processo de aprendizagem não só dos conceitos de arquitetura bioclimática e eficiência energética, mas também da ferramenta computacional utilizada para a avaliação. Prevendo esse entrave, o regulamento apostou no método prescritivo, mas que também não se apresentou de fácil manipulação na etapa de concepção de projeto, pois exige a reunião de informações detalhadas que muitas vezes ainda não foram estabelecidas. A simplificação deste método se faz através da utilização de valores limites pré-definidos e equações de desempenho, mas que na prática é questionável pelo fato de reduzir a uma equação e a poucos pré-requisitos questões tão complexas que envolvem cada uma das variáveis consideradas na avaliação. Se o arquiteto não fizer a correta utilização dos princípios de conforto ambiental, ainda que seja possível a obtenção de uma classificação de alta eficiência energética, o edifício poderá não apresentar efetivamente em seu funcionamento um alto desempenho, uma vez que os usuários poderão utilizar sistemas artificiais para garantir as mínimas condições de conforto no espaço aumentando sua demanda por energia elétrica.

O regulamento apresentou ainda uma relação estreita entre as diretrizes construtivas para cada zona bioclimática e a metodologia prescritiva, que estabelece equações específicas conforme a zona. No entanto, a NBR 15220-3, que trata sobre desempenho térmico de

edificações, define as zonas bioclimáticas e estabelece diretrizes construtivas especificamente para habitações de interesse social. Embora seja de extrema relevância a associação do clima, com os materiais de construção e a forma arquitetônica, as tipologias e materiais para edificações comerciais de serviço e público são consideravelmente diferentes, inclusive no aspecto climático de cada localidade. O atual zoneamento bioclimático brasileiro agrupa cidades com peculiaridades climáticas muito distintas Belém por exemplo, está classificada na ZB8, mesma zona bioclimática de cidades como Rio de Janeiro (sudeste), Corumbá (Centro-Oeste) e Recife (nordeste). A NBR 15220-3 relaciona ainda cada cidade com estratégias projetuais de condicionamento térmico passível³⁰, mas não está claramente abordado no RTQ-C, considerando uma mesma equação de indicador de consumo para cidades com climas locais, latitudes e longitudes bastante diferentes. Com isso, é importante considerar que para efetivar uma metodologia obrigatória de desempenho energético de edificações seria pertinente uma reavaliação do zoneamento bioclimático com parâmetros mais rigorosos que abordassem tipologias com características de edificações comerciais. No RTQ-C, o método prescritivo é baseado em um estudo de um grupo de tipologias de edificações comuns nas cidades brasileiras, portanto algumas poderão conter aspectos não aplicáveis em uma dada região. Especificamente para esses casos o método da simulação se torna mais eficaz.

Embora não seja um regulamento essencialmente ambiental, mas sim, energético, a utilização de medidas sustentáveis, seja através das bonificações, ou através de outra metodologia de avaliação, poderão contribuir para redução de aspectos negativos na relação entre a construção civil e o meio ambiente.

Atualmente, com base em estimativas de mercado e aplicação de metodologias específicas de avaliação de resultados, a Eletrobrás, através do Procel, estima que em 2011 tenha atingido um resultado de economia de energia de aproximadamente 6,969 bilhões de kWh. Essa energia ainda pode ser convertida em emissões evitadas de 196 mil tCO₂ equivalentes, o que corresponde às emissões proporcionadas por 67 mil veículos em um ano. Este resultado equivale 1,56% do consumo total de energia elétrica no Brasil, bem como corresponde ao consumo de energia anual de aproximadamente 3,6 milhões de residências brasileiras ou à energia fornecida, em um ano, por uma usina hidrelétrica com capacidade de 1.606 MW (ELETROBRÁS, 2012). Com dados tão otimistas, é incontestável que o RTQ-C represente um avanço para o desenvolvimento do país, tendo na sua fase voluntária o momento propício para a conscientização da sociedade, e profissionais envolvidos, da

³⁰ Ver tabela 25 da NBR 15220-3.

necessidade de comprometimento com políticas de conservação de energia. Embora ainda não seja obrigatório, até janeiro de 2013 64 edificações já passaram pelo processo de certificação total ou parcial. Em Belém, até o presente momento, ainda não se tornou uma prática corrente de mercado, apenas uma agência bancária da Caixa Econômica Federal foi certificada. Estima-se que com iniciativas do governo e com exigências mercadológicas o processo de certificação energética se torne uma prática padrão, contribuindo para o desenvolvimento sustentável do país.

5.1. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Aplicação analítica do RTQ-C através do método de simulação computacional, comparando os resultados já obtidos pelo método prescritivo do presente trabalho;
- Aplicação do método prescritivo em outras edificações representativas na Universidade Federal do Pará;
- Testar diferentes elementos de proteção solar em uma edificação ou em várias a fim de verificar a real contribuição dos ângulos de sombreamento e sua relação com o desempenho energético de edificações;
- Estudo de ventilação natural, que comprove através de equações, os percentuais de horas ocupadas de conforto, comparando os resultados com avaliações feitas em programas computacionais atestados pelo RTQ-C;
- Inventário e ensaio das propriedades térmicas de materiais de construção diferentes dos que já estão disponíveis nas normas e bibliografias, que possam contribuir para a especificação de projetos energeticamente eficientes.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5413 – Iluminância de Interiores**. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220-1 – Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003^a.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220-2 – Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003^b.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220-3 – Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003^c.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220-4 – Desempenho térmico de edificações - Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003^d.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220-5 – Desempenho térmico de edificações - Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003^d.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575-1 – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Parte 1: Requisitos Gerais**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2008^a.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575-2 – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Parte 2: Requisitos para sistemas estruturais**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2008^b.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575-3 – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Parte 3: Requisitos para sistemas de piso interno**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2008^c.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575-4 – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Parte 4: Sistema de vedações verticais externas e internas**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2008^d.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575-5 – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2008^e.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575-6 – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Parte 6: Sistemas hidrossanitários**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2008^f.

BOGO, A.; PIETROBON, C.E.; BARBOSA, M.J.; GOULART, S.; PITTA, T.; LAMBERTS, R. **Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico**.

Seminário. Relatório interno. Pós-Graduação em engenharia civil. UFSC, Florianópolis. 1994. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/node/104> (Acesso em: 23/01/20013)

BRASIL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 3º ed. Brasília. Agência Nacional de Energia elétrica (ANEEL). 2008.

BRASIL. Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília. Disponível em <http://www.inmetro.gov.br/qualidade/pdf/lei10295.pdf>. (Acesso em: 19/02/2012). 2001^a.

BRASIL. Decreto n. 4.059, de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF. Disponível em: <http://www81.dataprev.gov.br/sislex/paginas/23/2001/4059.htm>. Acesso em: 21/02/12. 2001^b.

BRASIL. Instituto de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – Parte 1: Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações**. Brasil, 2009^a.

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

BRASIL. Instituto de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – Parte 3: Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos (RAC)**. Brasil, 2009^c.

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

BRASIL. **Balanco Energético Nacional 2010: Ano base 2009: Resultados Preliminares**. Ministério de Minas e Energia (MME). Empresa de Pesquisa Energética – Rio de Janeiro: EPE, 2010.

BRASIL. **Balanco Energético Nacional 2011: Ano base 2009: Resultados Preliminares**. Ministério de Minas e Energia (MME). Empresa de Pesquisa Energética – Rio de Janeiro: EPE, 2011.

BRUM, T. F. **Requisitos Técnicos da Qualidade do nível de Eficiência Energética aplicado em edificação pública em fase de projeto: O caso do centro de convivência para idosos em Doutor Maurício Cardoso - RS**. Santa Maria, RS. Universidade Federal de Santa Maria: Dissertação de Mestrado. 2010.

BUENO, C. Avaliação de desempenho ambiental de edificações habitacionais: Análise comparativa dos sistemas de certificação no contexto brasileiro. São Paulo, SP. Universidade de São Paulo (USP) – Escola de Engenharia de São Paulo: Dissertação de Mestrado, 2010.

CAMPOS, N. L. Desempenho térmico e lumínico de edificações públicas sob a ótica do RTQ-C em Cuiabá, MT. Cuiabá, MT. UFMT: Dissertação de Mestrado. 2012.

CARLO, J. C. Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envolvimento de Edificações Não-Residenciais. Florianópolis, SC. UFSC: Tese de Doutorado. 2008.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos. Rio de Janeiro, RJ. Ed. Revan. 2003.

CORBELLA, O.; CORNER, V. Manual de Arquitetura Bioclimática Tropical para a redução de consumo energético. Rio de Janeiro, RJ. Revan. 2011.

ELETOBRAS; PROCEL. Relatório de resultados do Procel 2012 - ano base 2011. Rio de Janeiro, 2012.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. Manual de Conforto Térmico. 6ª Ed. São Paulo, SP. S. Nobel, Ed. 2001.

GIVONI, B. Comfort climate analysis and building design guidelines. Rev.energy and buildings: v.18, n.1, p. 11-23, 1992.

GOULART, S. V. Relatório das Experiências Internacionais - Experiência nos Estados Unidos. Florianópolis, SC. Convênio Eletrolbrás/UFSC. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/RT200508.pdf> (Acesso em: 29/09/2010). 2005.

GOULART, S. V. Relatório das Experiências Internacionais - Experiência Européia. Florianópolis, SC. Convênio Eletrolbrás/UFSC. Disponível em: <http://cb3e.ufsc.br/etiquetagem/desenvolvimento/atividades-2004-2008/aet3> (Acesso em: 23/01/2013). 2005.

GOULART, S. V. Relatório das Experiências Internacionais - Experiência Australiana e discussão final. Florianópolis, SC. Convênio Eletrolbrás/UFSC. Disponível em: <http://cb3e.ufsc.br/etiquetagem/desenvolvimento/atividades-2004-2008/aet3> (Acesso em: 23/01/2013). 2005.

GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. Dados Climáticos para Projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras. Florianópolis, SC. Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC. 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO).ISO 7730: Moderate Thermal Enviroments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal confort. 3ed. 2005.

KEELER, M.; BURKE, B. Fundamentos de Projeto de Edificações Sustentáveis. Bookman, Ed., A. SALVATERRA (Trad.) Porto Alegre, RS. 2010.

- KLÜSENER, C. S. **Aplicação do regulamento para a etiquetagem no nível de eficiência energética de edifícios: O caso do centro de Tecnologia da UFSM.** Santa Maria, RS. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 2009.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência Energética na Arquitetura.** São Paulo. PW Editores. 1997.
- LAMBERTS, R. et al. **Regulamentação de Etiquetagem Voluntária de Nível De Eficiência Energética de Edifícios Comerciais e Públicos.** In: IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 9. Ouro Preto, MG. Disponível em: <http://www.ufpel.edu.br/faurb/prograu/documentos/artigo2-tecnologia.pdf>. (Acesso em: 21/02/2012). 2007.
- LEDUC, J. L. G. M. **PROCEL EDIFICA - Eficiência Energética em Edificações: Ações Desenvolvidas.** ELETROBRÁS, 2008.
- MACIEL, A. A. **Integração de conceitos bioclimáticos ao projeto arquitetônico.** Florianópolis, SC. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC): Tese de Doutorado, 2006.
- MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. **Recomendações para padronização do processo de determinação do Fator Solar de vidros no Brasil.** UFSC, Departamento de Engenharia Civil, Florianópolis, SC. 2008.
- MRINOSKI, D. L.; **Desempenho térmico de edificações.** Florianópolis. Apostila – Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.
- NICOLETTI, A. M. A. **Eficiência Energética em um Ministério da Esplanada em Brasília: Proposta para retrofit de envoltória.** Brasília. Universidade de Brasília: Dissertação de Mestrado, 2009.
- PROCEL. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C).** Procel/Eletrobrás, Ed. Rio de Janeiro, RJ. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/eletrobras/etiquetagem/downloads.php> (Acesso em: 4/10/2010). 2010.
- ROMA, E. M. de B. **Análise da aplicação do regulamento técnico da qualidade do nível de eficiência energética no prédio do IBAM.** Rio de Janeiro, RJ. Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ): Dissertação de Mestrado, 2010.
- ROMERO, M. A. **Princípios Bioclimáticos para Desenho Urbano.** São Paulo, SP. ProEditores. 2000.
- SIGNOR, R. **Análise de Regressão do consumo de energia elétrica frente a variáveis arquitetônicas para edifícios comerciais climatizados em 14 capitais brasileiras.** Florianópolis, SC. UFSC: Dissertação de Mestrado. 1999.
- SANTOS, R. F. **A arquitetura e a eficiência nos usos finais da energia para o conforto ambiental.** São Paulo. Universidade de São Paulo: Dissertação de Mestrado. 2002.

APÊNDICE A – Cálculo da Transmitância Térmica da Cobertura.

A seguir é apresentado o resultado do cálculo da transmitância térmica dos diferentes tipos de coberturas que constituem a envoltória do edifício e que não possuem valor pré-determinado pela NBR 15220-3.

As definições, unidades e símbolos das variáveis envolvidas no desempenho térmico da transmitância podem ser consultados na NBR 15220-1 (2005a).

Os valores considerados para resistência superficial externa (R_{se}) e resistência superficial interna (R_{si}) foram extraídos da NBR 15220-2 (2005b), conforme figura 75 abaixo.

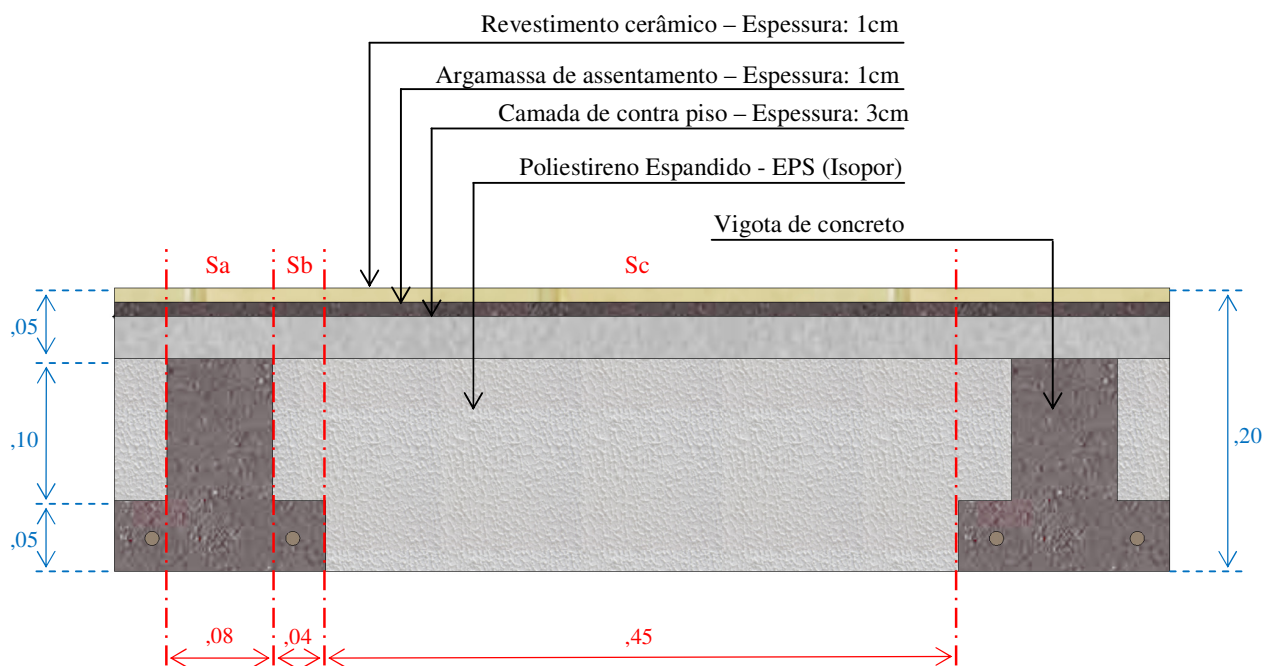
Figura 75 – Resistência térmica superficial externa e interna

R_{si} ($m^2 \cdot K/W$)			R_{se} ($m^2 \cdot K/W$)		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
⇒	⇑	⇓	⇒	⇑	⇓
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: NBR 15220-2 (2005b)

A) Laje Pré-Moldada com revestimento cerâmico:

Figura 76 – Secção da Laje pré-moldada e suas respectivas camadas



Dados³¹:

$$\lambda_{\text{concreto}} = 1,75 \text{ W/(m.K)} \quad \lambda_{\text{contra piso}} = 1,75 \text{ W/(m.K)}$$

$$\lambda_{\text{argamassa}} = 1,75 \text{ W/(m.K)} \quad \lambda_{\text{isopor}} = 0,04 \text{ W/(m.K)}$$

$$\lambda_{\text{cerâmica}} = 0,70 \text{ W/(m.K)}$$

Transmitância Térmica (U) é igual ao inverso da resistência térmica:

$$U_{\text{cob}} = \frac{1}{R_t}$$

R_t – Resistência de todas as camadas.

Resistência Térmica: Figura 75

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

e – espessura da camada

λ – condutividade do material da camada

Para o cálculo da Resistência de cada Seção:

Seção A:

$$R_a = \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + \frac{e_{\text{arg}}}{\lambda_{\text{arg}}} + \frac{e_{\text{c.piso}}}{\lambda_{\text{c.piso}}} + \frac{e_{\text{vigota}}}{\lambda_{\text{vigota}}} \implies R_a = \frac{0,01}{0,70} + \frac{0,01}{1,15} + \frac{0,03}{1,75} + \frac{0,15}{1,75}$$

$$R_a = 0,1258 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$$

Seção B:

$$R_b = \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + \frac{e_{\text{arg}}}{\lambda_{\text{arg}}} + \frac{e_{\text{c.piso}}}{\lambda_{\text{c.piso}}} + \frac{e_{\text{isopor}}}{\lambda_{\text{isopor}}} + \frac{e_{\text{vigota}}}{\lambda_{\text{vigota}}} \implies R_b = \frac{0,01}{0,70} + \frac{0,01}{1,15} + \frac{0,03}{1,75} + \frac{0,10}{0,04} + \frac{0,05}{1,75}$$

$$R_b = 2,5687 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$$

Seção C:

$$R_c = \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + \frac{e_{\text{arg}}}{\lambda_{\text{arg}}} + \frac{e_{\text{c.piso}}}{\lambda_{\text{c.piso}}} + \frac{e_{\text{isopor}}}{\lambda_{\text{isopor}}} \implies R_c = \frac{0,01}{0,70} + \frac{0,01}{1,15} + \frac{0,03}{1,75} + \frac{0,15}{0,04}$$

$$R_c = 3,7901 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$$

Resistência Térmica (R_t):

$$R_t = \frac{A_a + A_b + A_c}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b} + \frac{A_c}{R_c}} \implies R_t = \frac{0,016 + 0,008 + 0,09}{\frac{0,016}{0,1258} + \frac{0,008}{2,5687} + \frac{0,09}{3,7901}}$$

$$R_t = 0,7402 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$$

Resistência Térmica Total (R_T):

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} \implies R_T = 0,17 + 0,7402 + 0,04$$

$$R_T = 0,9502 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$$

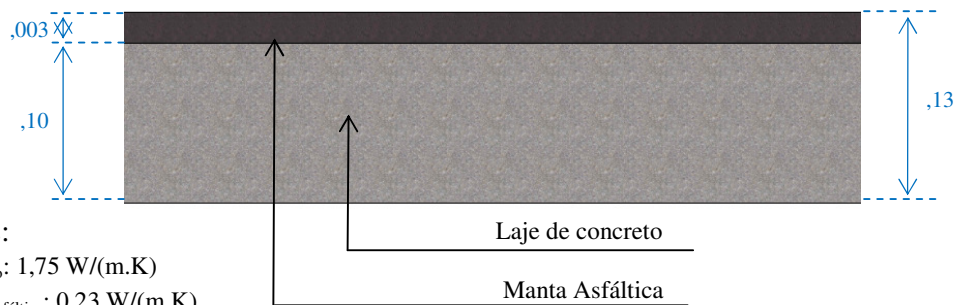
Transmitância Térmica (U):

$$U_{\text{cob}} = \frac{1}{R_T} \implies U_{\text{cob}} = \frac{1}{0,9502} \implies U_{\text{cob}} = 1,05 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$$

³¹ Extraídos da tabela B.3 da NBR 15220-2

B) Laje maciça revestida com manta asfáltica:

Figura 77 – Secção da Laje maciça de concreto



Para o cálculo da resistência térmica:

$$R_t = \frac{e_{m.asfáltica}}{\lambda_{m.asfáltica}} + \frac{e_{concreto}}{\lambda_{concreto}} \implies R_t = \frac{0,003}{0,23} + \frac{0,10}{1,75} \implies R_t = 0,0701 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$$

Resistência Térmica Total (R_T):

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} \implies R_T = 0,17 + 0,0701 + 0,04 \implies R_T = 0,2801 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$$

Transmitância Térmica (U):

$$U_{cob} = \frac{1}{R_T} \implies U_{cob} = \frac{1}{0,2801} \implies U_{cob} = 3,57 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$$

APÊNDICE B – Ângulos verticais de sombreamento

1. Fachada Leste

Figura 78 – Fachada leste com as indicações das aberturas



Figura 79 – Ângulo vertical de sombreamento Janela EA1 na fachada leste



Figura 80 – Ângulo vertical de sombreamento Janela EA1-i na fachada leste

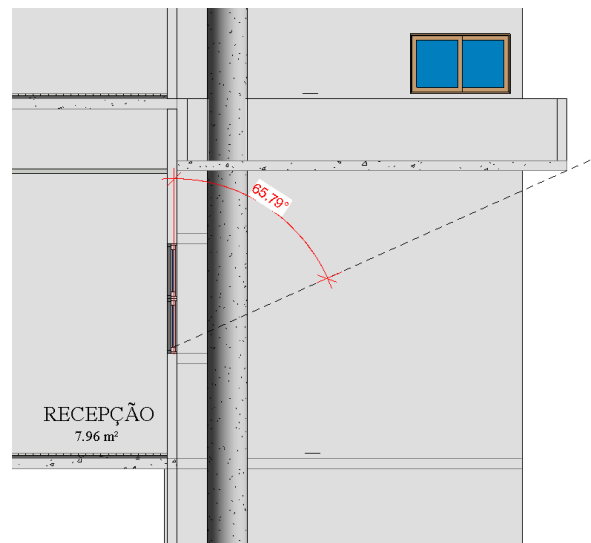


Figura 81 – Ângulo vertical de sombreamento Janela EA1-ii na fachada leste

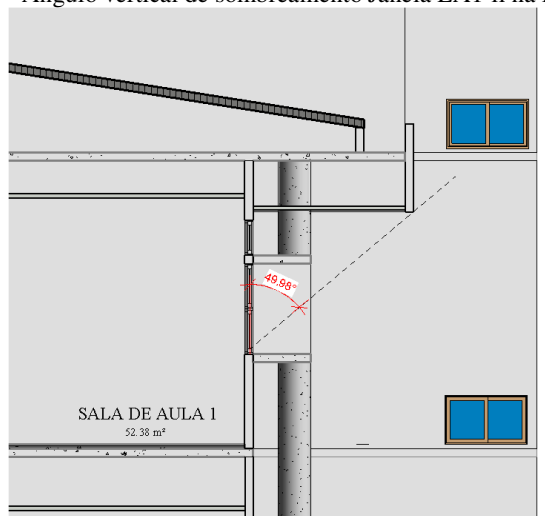


Figura 82 – Ângulo Vertical de sombreamento janela EA10 – 3º Pav na fachada leste

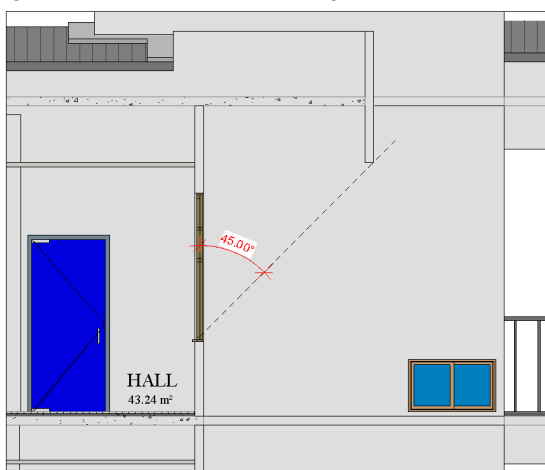


Figura 83 – Ângulo Vertical de sombreamento janela EA10 – 2º Pav na fachada leste

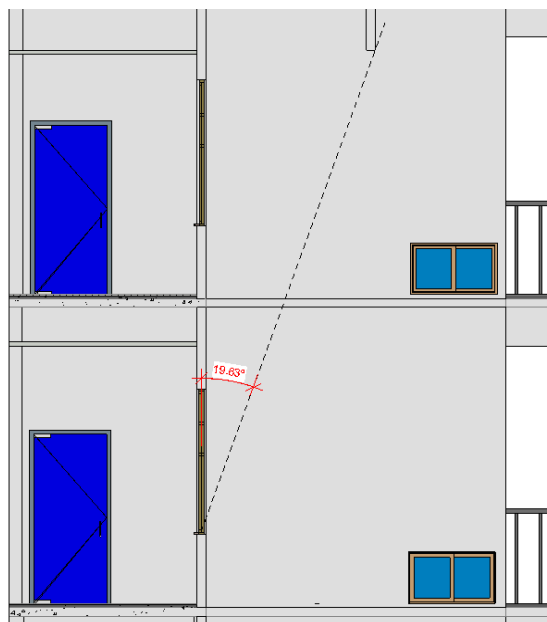
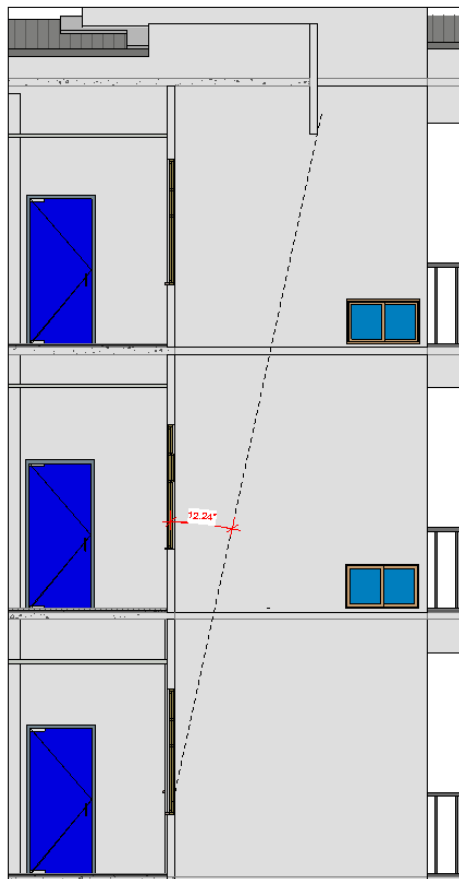


Figura 84 – Ângulo vertical de sombreamento janela EA10 – 1º Pav na fachada leste



2. Fachada Norte

Figura 85 – Fachada norte bloco 1 com as indicações das aberturas

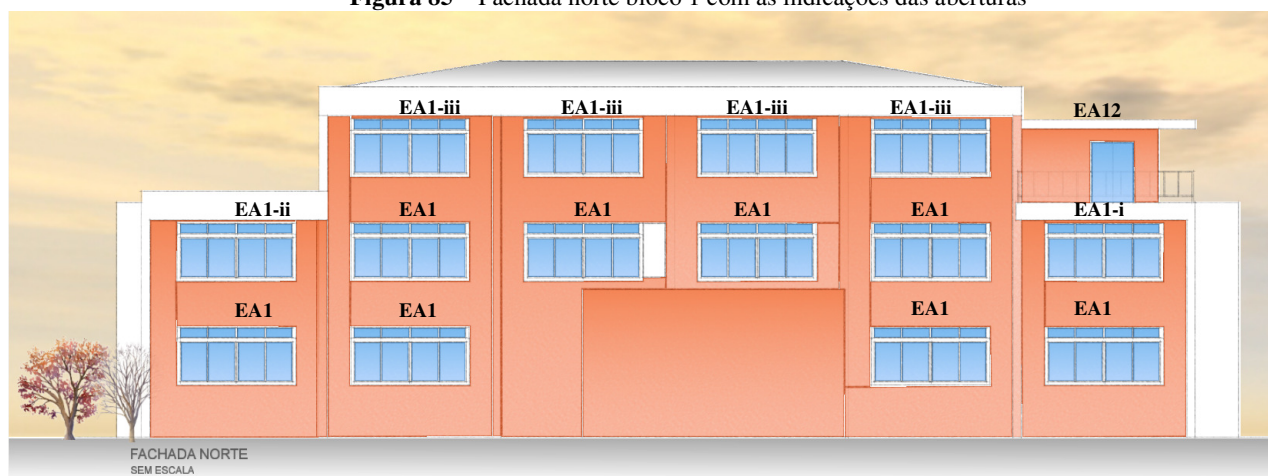


Figura 86 – Fachada norte bloco 2 com as indicações das aberturas

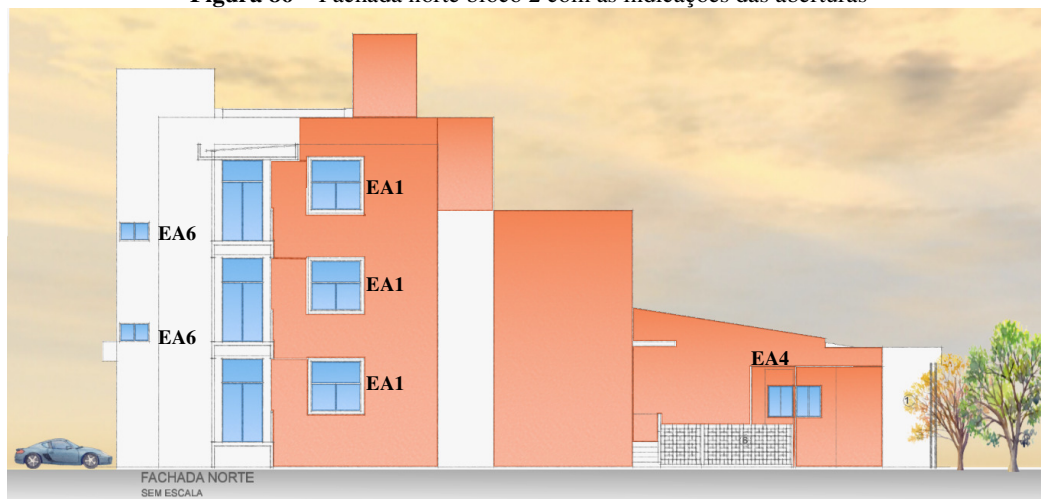


Figura 87 – Ângulo vertical de sombreamento janela EA1 na fachada norte

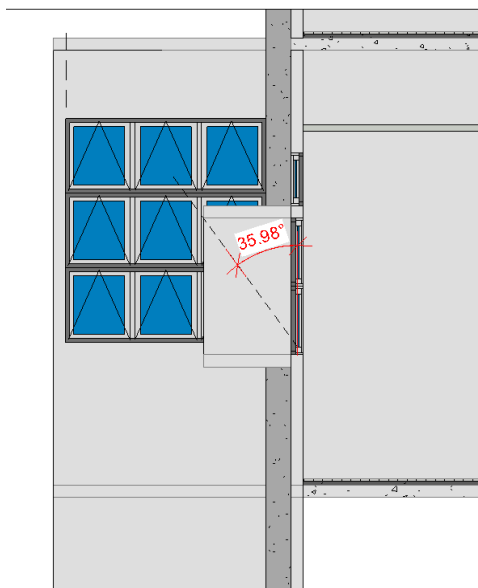


Figura 88 – Ângulo vertical de sombreamento janela EA1-i na fachada norte

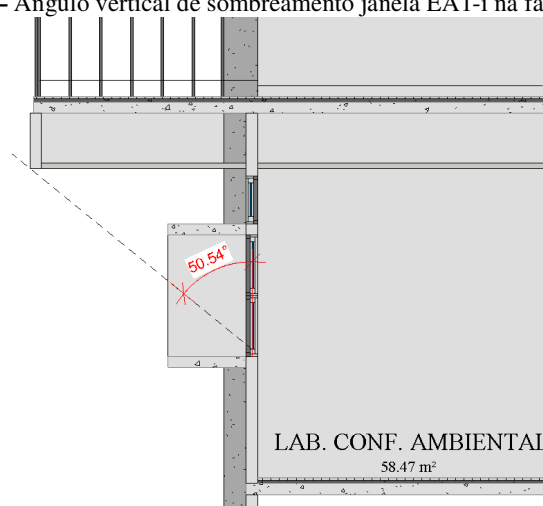


Figura 89 – Ângulo Vertical de sombreamento janela EA1-ii na fachada norte

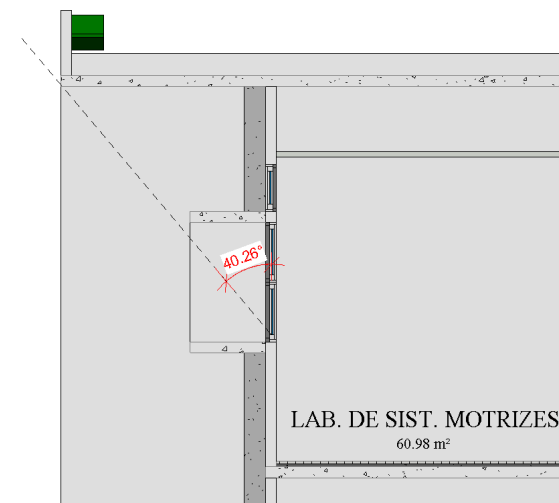


Figura 90 – Ângulo vertical de sombreamento janela EA1-iii na fachada norte

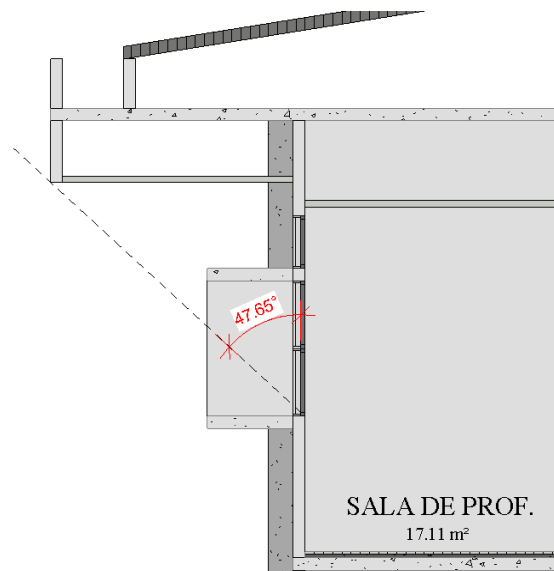


Figura 91 – Ângulo vertical de sombreamento janela EA4 na fachada norte

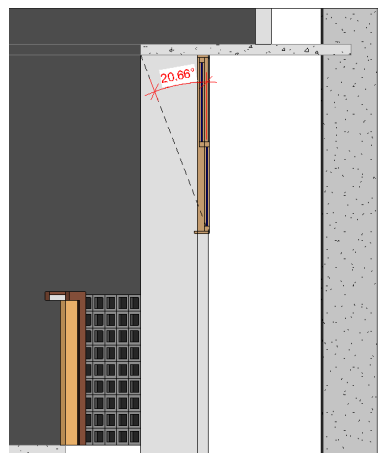
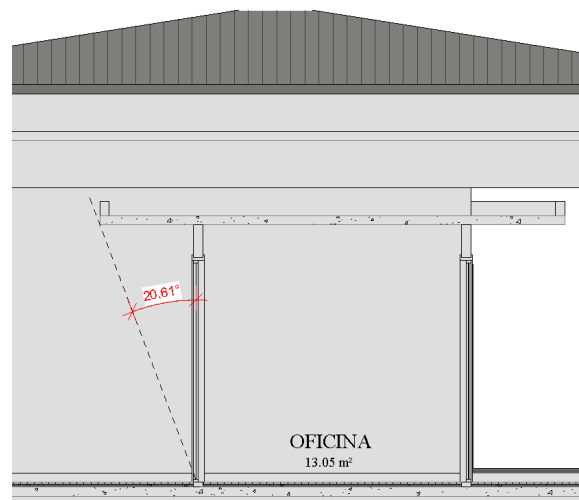


Figura 92 – Ângulo vertical de sombreamento porta EA12 na fachada norte



3. Fachada Oeste

Figura 93 – Fachada oeste com as indicações das aberturas

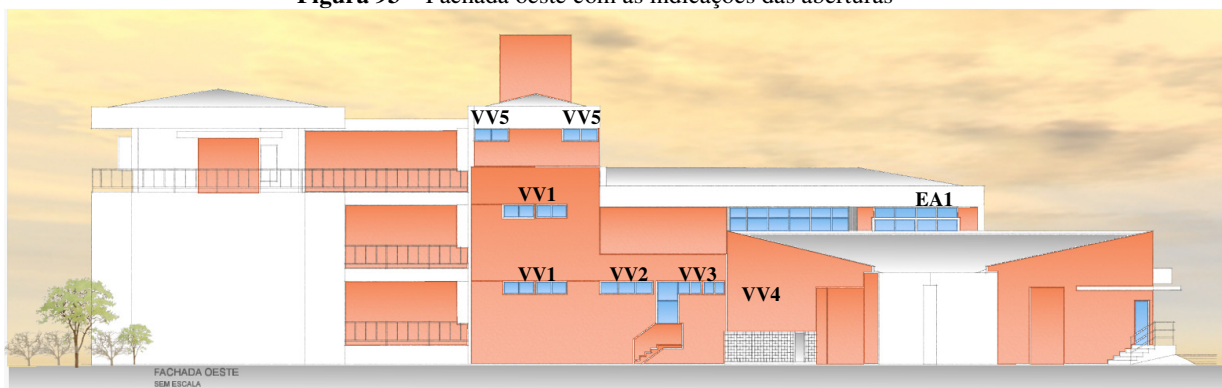
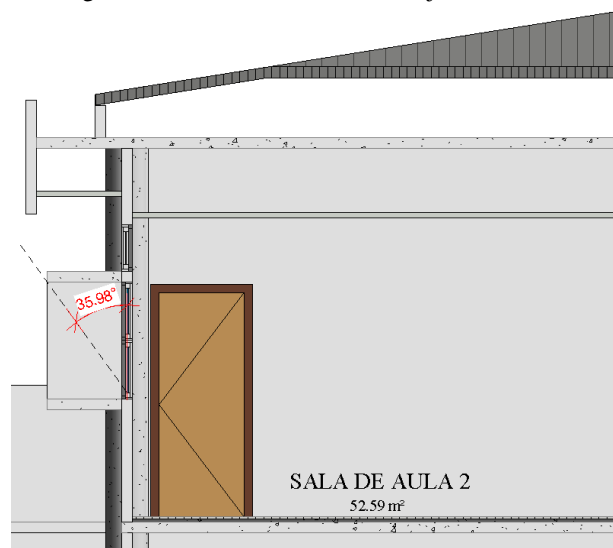


Figura 94 – Ângulo vertical de sombreamento da janela EA1 na fachada oeste



4. Fachada Sul

Figura 95 – Fachada sul com as indicações das aberturas

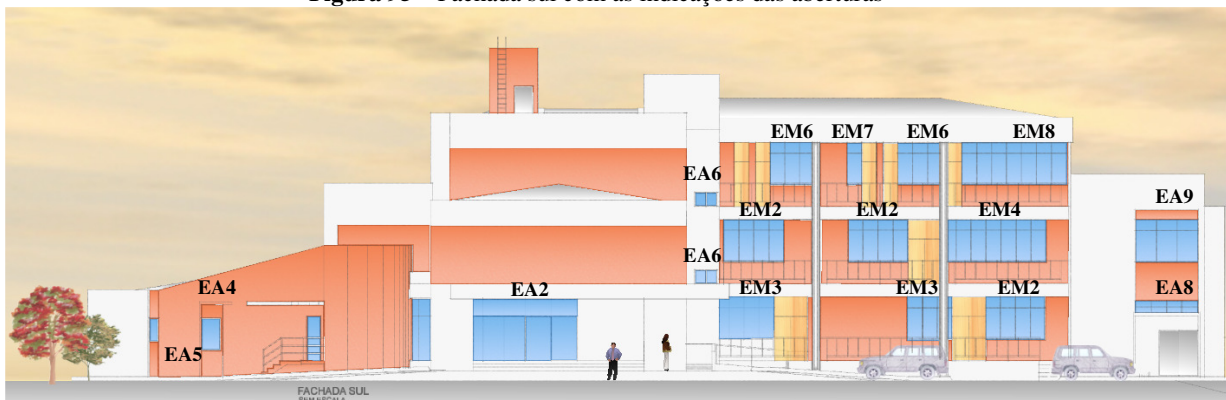


Figura 96 – Fachada sul do bloco 1 com as indicações das aberturas



Figura 97 – Ângulo vertical de sombreamento da porta EA2 na fachada sul

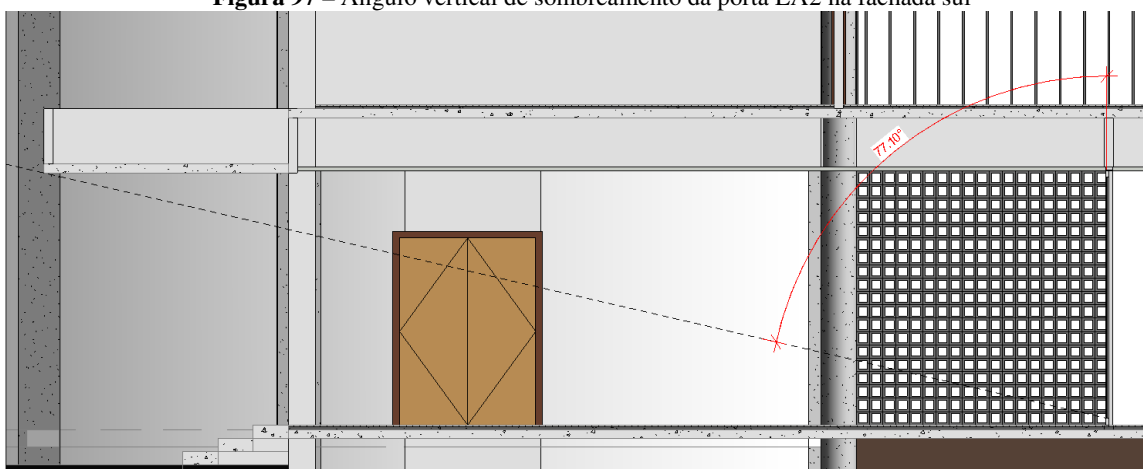


Figura 98 – Ângulo vertical de sombreamento da janela EA4 na fachada sul

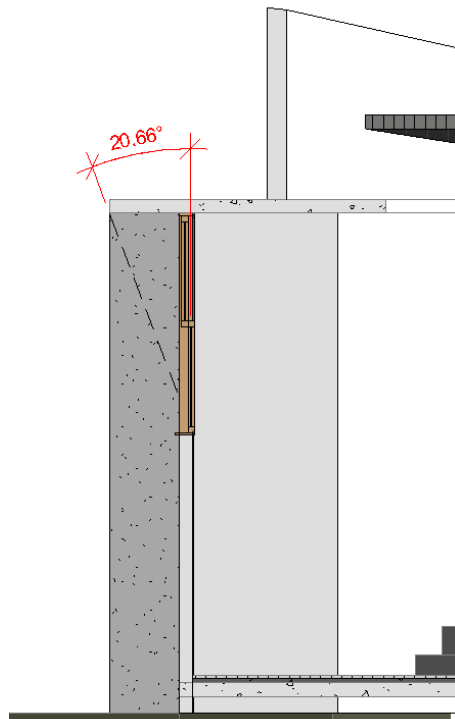


Figura 99 – Ângulo vertical de sombreamento das janelas EA8 e EA9 na fachada sul

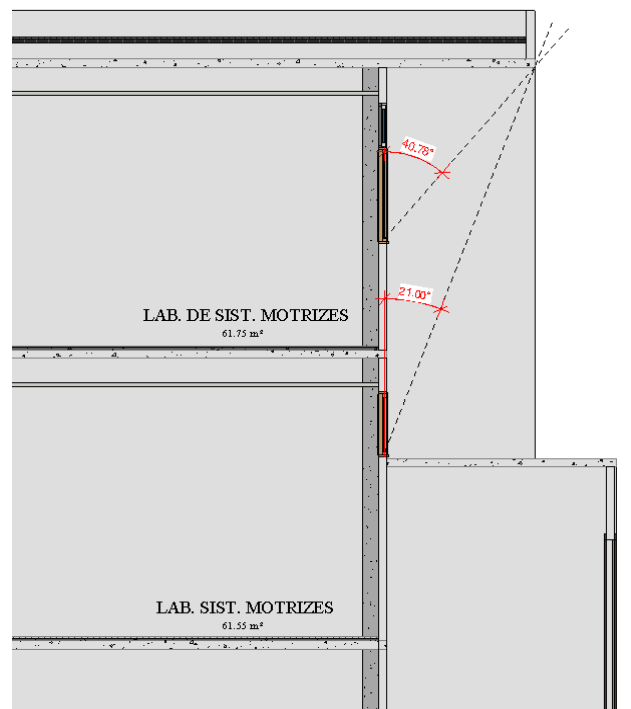


Figura 100 – Ângulo vertical de sombreamento da janela EA12 na fachada sul

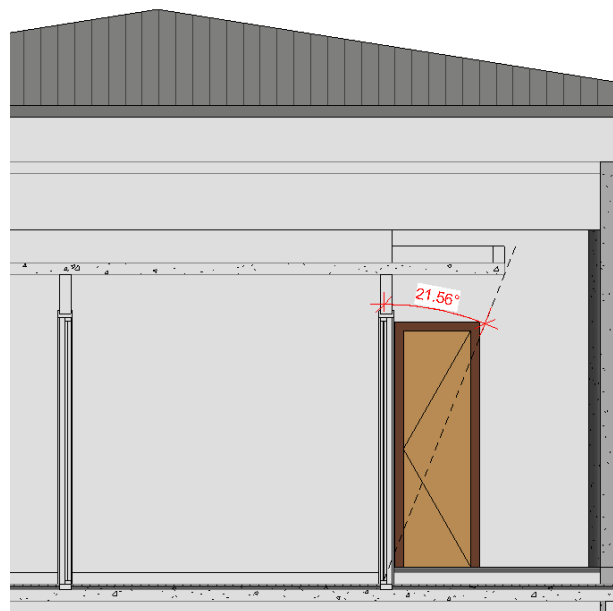


Figura 101 – Ângulo vertical de sombreamento da janela EM3 na fachada sul

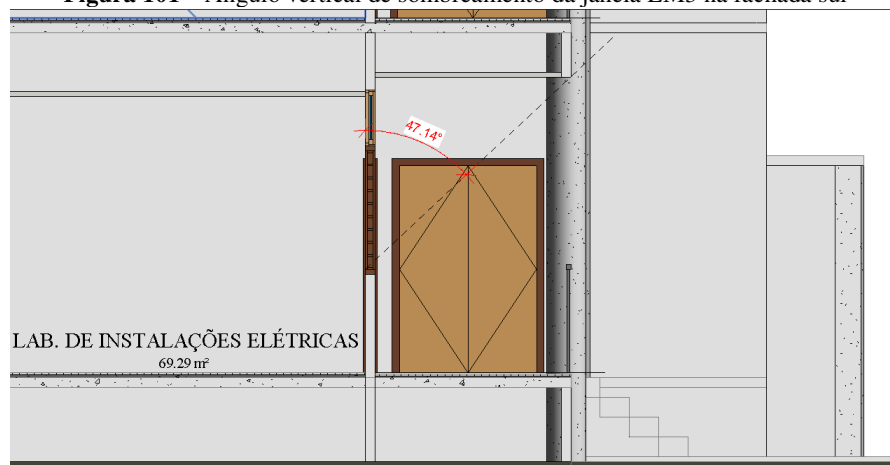


Figura 102 – Ângulo vertical de sombreamento da janela EM2 na fachada sul

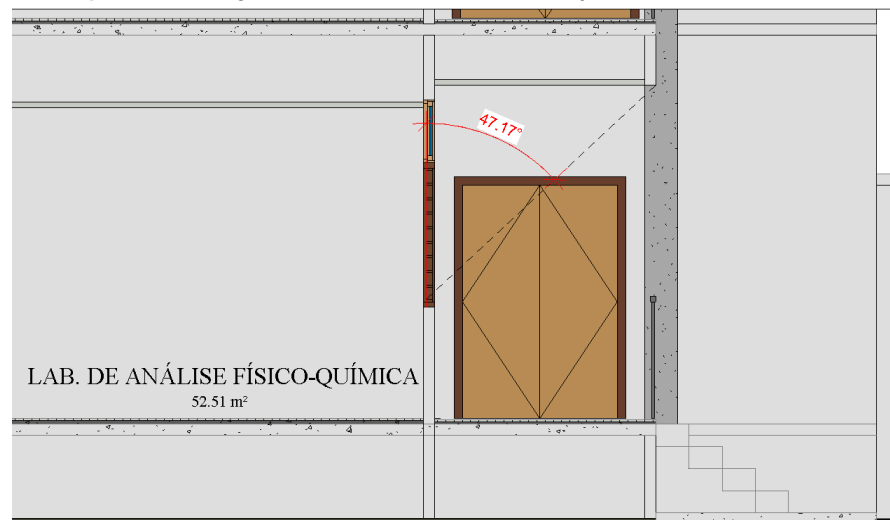
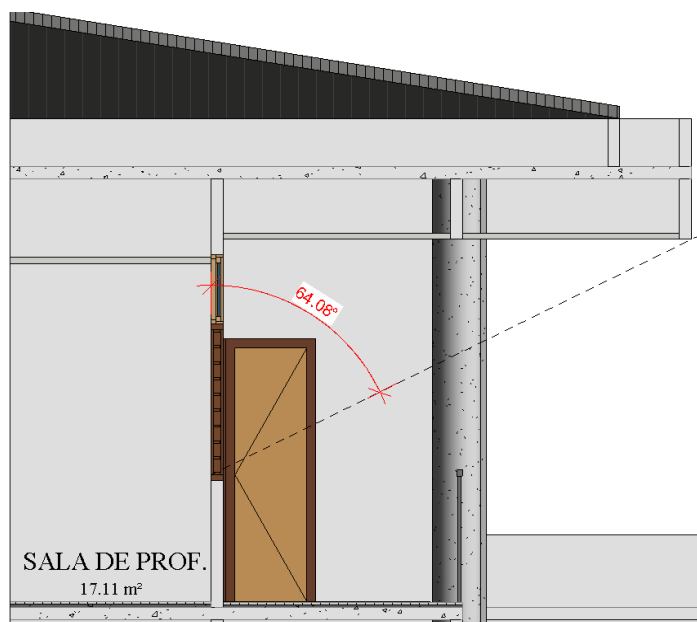


Figura 103 – Ângulo vertical de sombreamento da janela EM6 na fachada sul



APÊNDICE C – Ângulos horizontais de sombreamento.

1. Fachada Leste

Figura 104 – Ângulo horizontal de sombreamento da janela EA1 na fachada leste

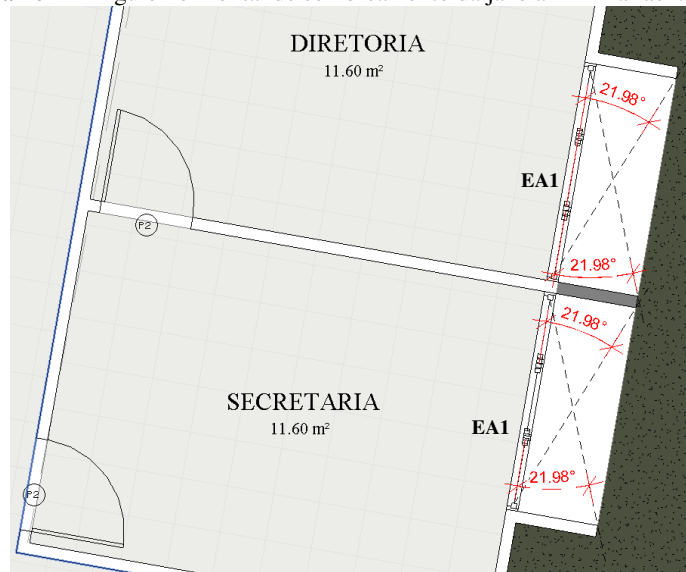


Figura 105 – Ângulo horizontal de sombreamento da janela EA10 na fachada leste

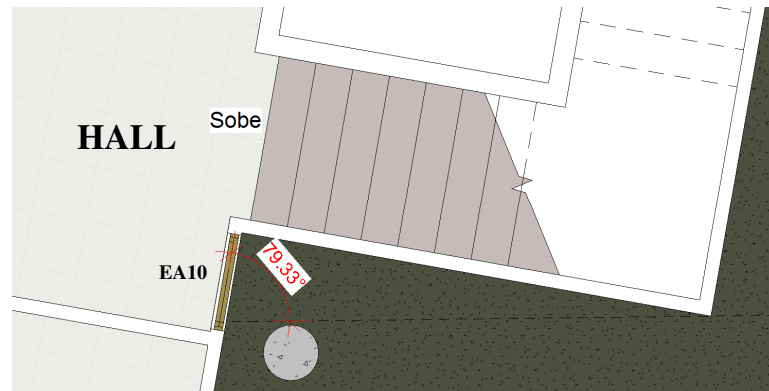


Figura 106 – Ângulo horizontal de sombreamento da janela EA10-i na fachada leste



2. Fachada Norte

Figura 107 – Ângulo horizontal de sombreamento da janela EA1 e EA1-i na fachada norte

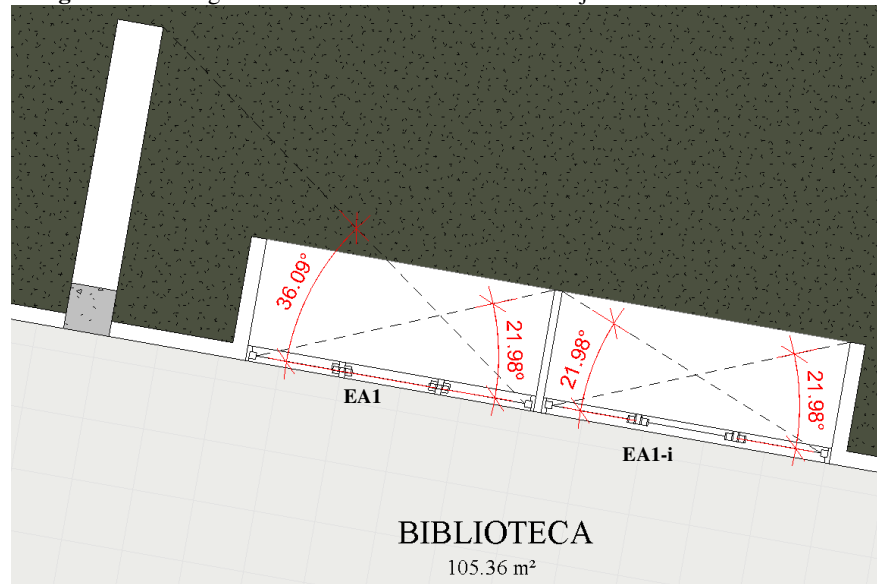


Figura 108 – Ângulo horizontal de sombreamento da janela EA1-i e EA1-ii na fachada norte

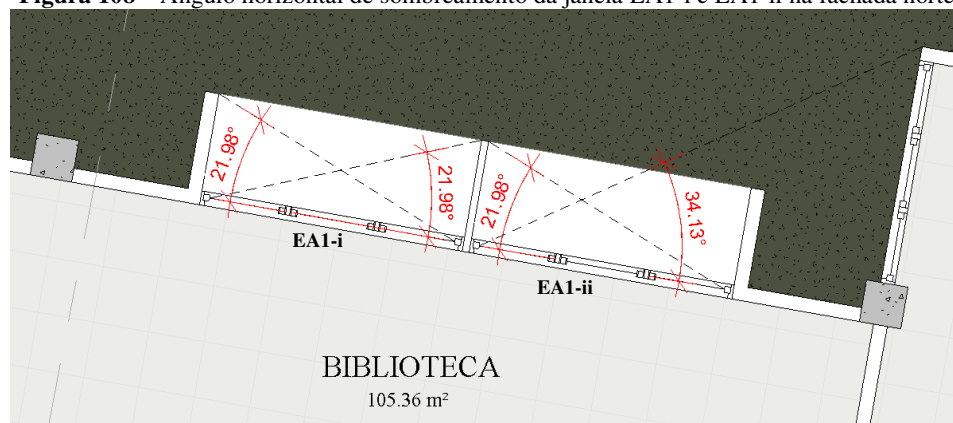


Figura 109 – Ângulo horizontal de sombreamento da janela EA1-i e EA1-iii na fachada norte

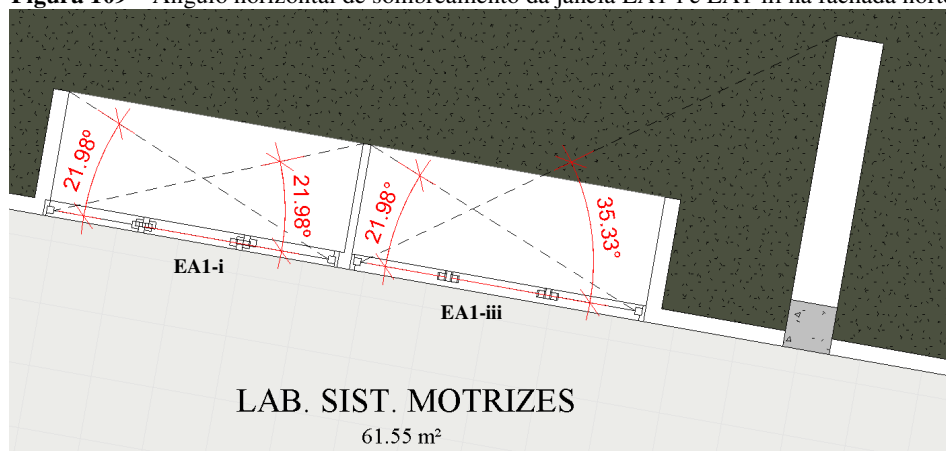


Figura 110 – Ângulo horizontal de sombreamento da janela EA4 na fachada norte

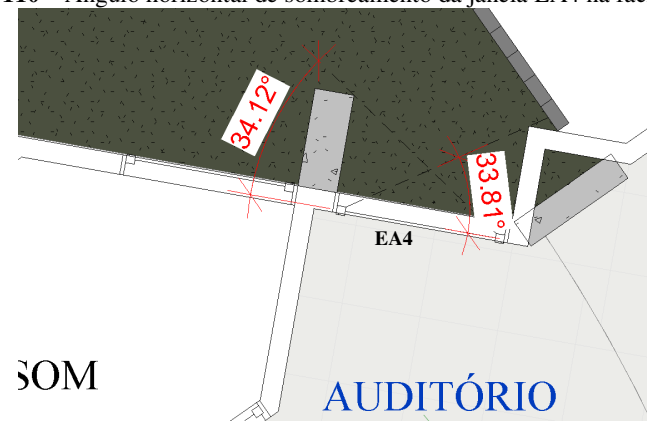


Figura 111 – Ângulo horizontal de sombreamento da janela EA4-i na fachada norte

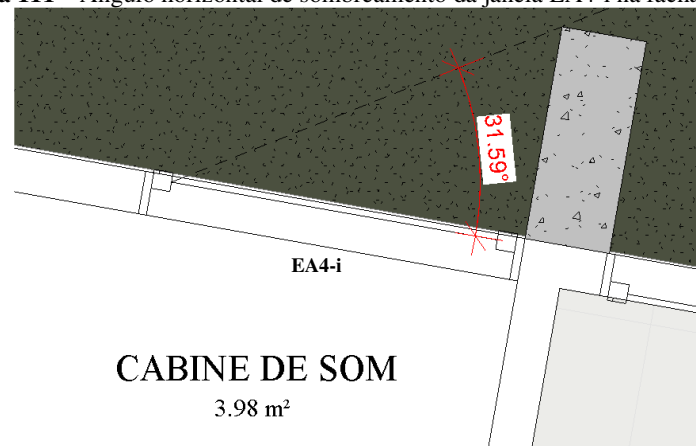
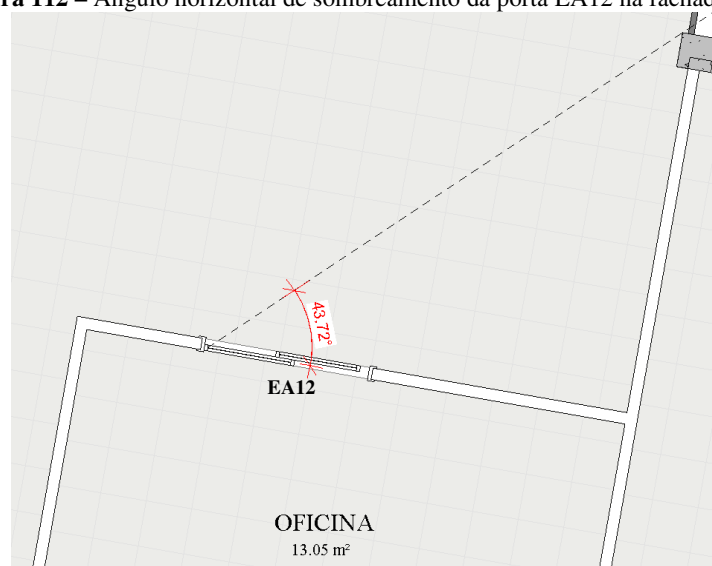
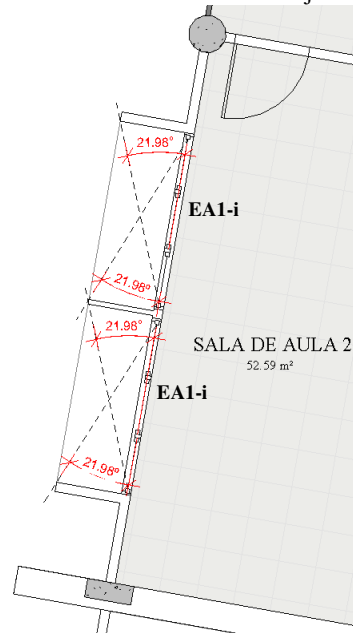


Figura 112 – Ângulo horizontal de sombreamento da porta EA12 na fachada norte



3. Fachada Oeste

Figura 113 – Ângulo horizontal de sombreamento da janela EA1-i na fachada oeste



4. Fachada Sul

Figura 114 – Ângulo horizontal de sombreamento da janela EA4 na fachada sul

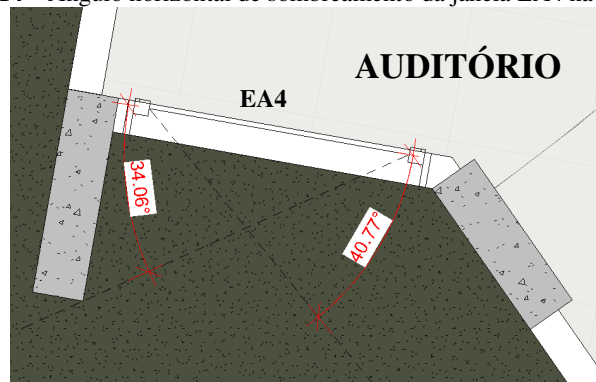


Figura 115 – Ângulo horizontal de sombreamento da janela EA5 na fachada sul



Figura 116 – Ângulo horizontal de sombreamento da janela EA8 e EA9 na fachada sul

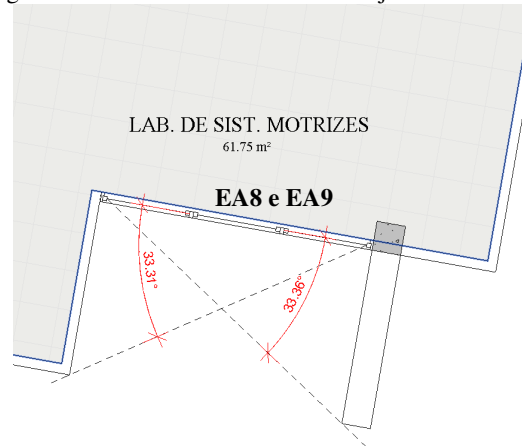


Figura 117 – Ângulo horizontal de sombreamento da janela EM3 na fachada sul

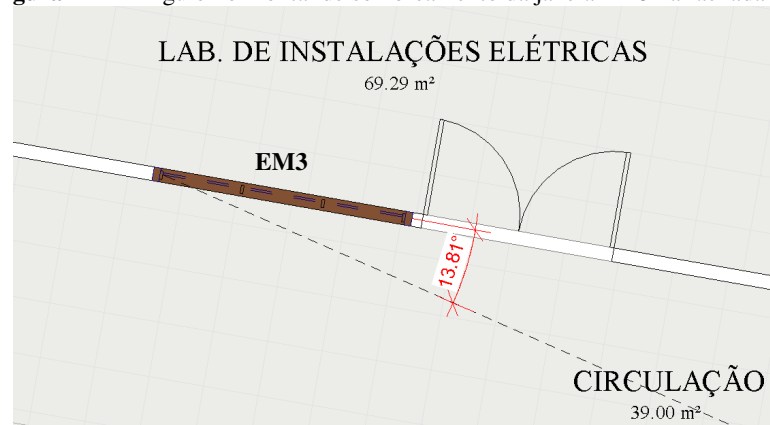


Figura 118 – Ângulo horizontal de sombreamento da janela EM3-i na fachada sul

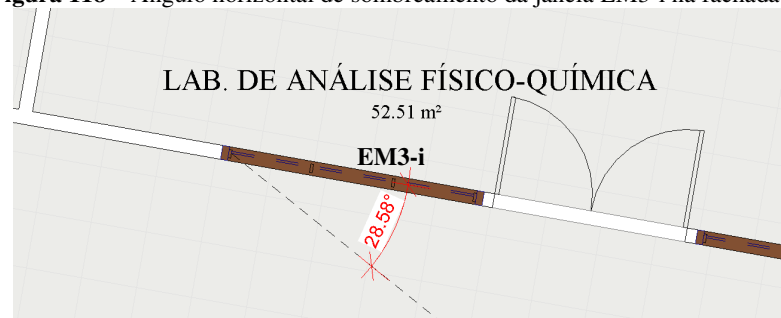


Figura 119 – Ângulo horizontal de sombreamento da janela EM2 na fachada sul

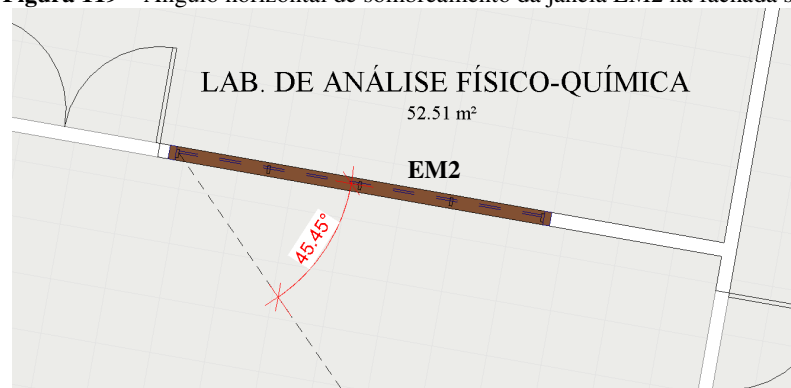


Figura 120 - Ângulo horizontal de sombreamento da janela EM2-i na fachada sul



Figura 121 - Ângulo horizontal de sombreamento da janela EM2-ii na fachada sul

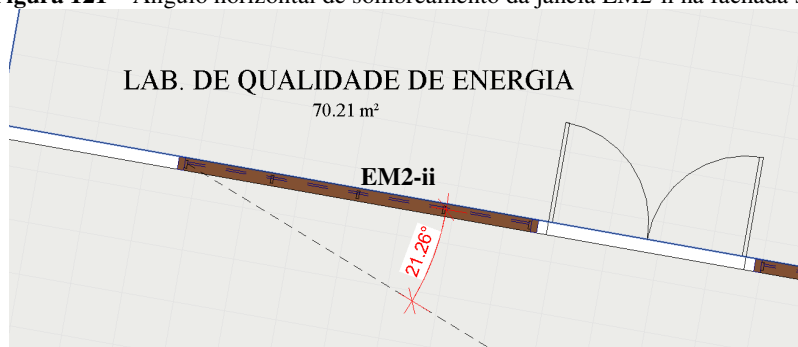


Figura 122 - Ângulo horizontal de sombreamento da janela EM2-ii na fachada sul

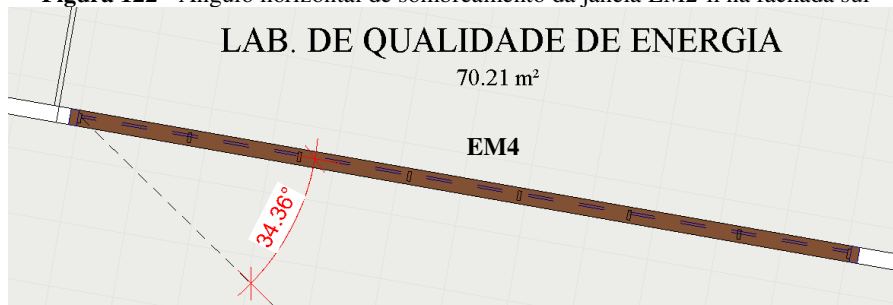


Figura 123 - Ângulo horizontal de sombreamento da janela EM6 na fachada sul



Figura 124 - Ângulo horizontal de sombreamento da janela EM6-i na fachada sul

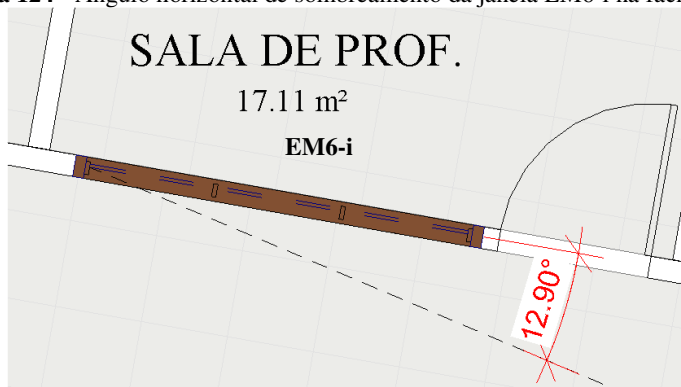


Figura 125 - Ângulo horizontal de sombreamento da janela EM6-ii na fachada sul



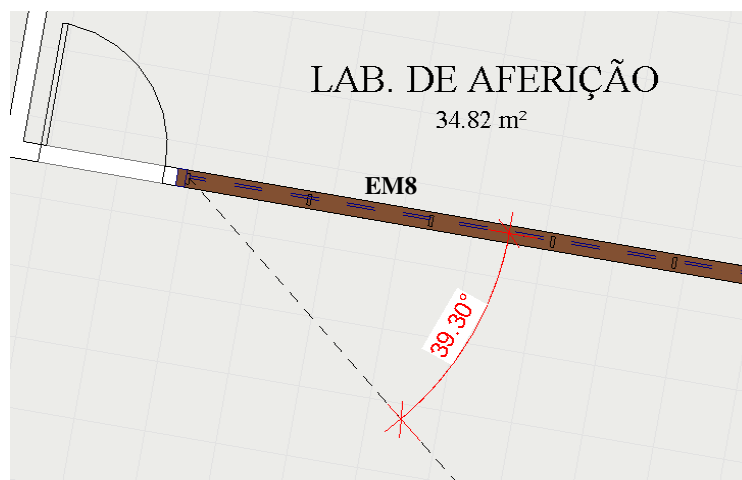
Figura 126 - Ângulo horizontal de sombreamento da janela EM6-iii na fachada sul




Figura 127 - Ângulo horizontal de sombreamento da janela EM7 na fachada sul




Figura 128 - Ângulo horizontal de sombreamento da janela EM8 na fachada sul



ANEXO 1 – PLANILHA DE FORNECIMENTO DE DADOS GERAIS DA EDIFICAÇÃO


GERAL									
Dados cadastrais									
	Proprietário Parque de Ciência e Tecnologia Guamá								
	Nome edifício CEAMAZON								
	Endereço Avenida Perimetral								
	No Compl. nº 2651 Prédio 1			Bairro Guamá					
	Cidade Belém			UF PA	CEP 66077-830				
	Zona Bioclimática ZB8			Data 08/05/2012					
Proprietário _____					Inspetor _____				
DADOS GERAIS									
MÉTODO DE AVALIAÇÃO SOLICITADO		prescritivo		sim		simulação		sim	
SIMULAÇÃO		arquivos entregues		sim		simulação completa		sim	
DADOS DO EDIFÍCIO									
Atividade		Universidade - Ensino e Pesquisa				Funcionamento (h)		8	
Área total		1858.36	Área do subsolo		não tem	Uso do subsolo		não tem	
AVALIAÇÃO		Edifício completo?		sim					
ÁREAS DE PISO		AU	1659.22	AC	1014.72	ANC	0	APT	493.12
SISTEMAS OU DISPOSITIVOS ECONOMIZADORES DE ÁGUA									
CONSUMO DE ÁGUA		Referencial		Edifício		Economia (%)			
Consumo (l/hab/ano)									
SISTEMAS OU DISPOSITIVOS ECONOMIZADORES DE ENERGIA									
		Referencial	Fotovoltaica	Eólica	Cogeração	Outra*:			
Consumo anual (kWh/m²/ano)			Inexistente	Inexistente	Inexistente	Inexistente			
Percentual de economia (%)			Inexistente	Inexistente	Inexistente	Inexistente			
		*Descrição							
Informações sobre aquecimento solar de água para bonificação devem ser preenchidas no item de pré-requisitos									
AQUECIMENTO DE ÁGUA									
SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR									
Demanda de água quente atendida pelo sistema de aquecimento solar					Inexistente				
Área de placas		Inexistente	Número de placas		Inexistente	Eficiência INMETRO		Inexistente	
Modelo de placa		-							
Orientação dos coletores		-	Inclinação dos coletores		-	Latitude		-	
Capacidade dos reservatórios		-	Isolamento térmico reservatório		-	Eficiência INMETRO		-	
AQUECEDORES A GÁS DO TIPO INSTANTÂNEO									
Demanda de água quente atendida por aquecedores a gás									
Modelo		inexistente		Potência		Inexistente		Eficiência INMETRO -	
Local em que o aquecedor está instalado									
acrescentar quantas linhas forem necessárias									
SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA POR BOMBAS DE CALOR									
Demanda de água quente atendida por bombas de calor					Inexistente		COP		Inexistente
CALDEIRAS A GÁS									
Demanda de água quente atendida por caldeiras a gás					Inexistente		Eficiência		Inexistente
AQUECIMENTO ELÉTRICO									
Demanda de água quente atendida por aquecimento elétrico									
Tipo		Inexistente	Modelo		Inexistente	Potência		Inexistente	Eficiência Inexistente
acrescentar quantas linhas forem necessárias									
ISOLAMENTO DE TUBULAÇÕES									
Espessura do isolamento térmico					Condutividade térmica				
Tipo de tubulação					Resistência térmica do reservatório				
ELEVADORES									
Ano em que o edifício foi construído		2010							
Elevador 1	Inversor de frequência	n/a	frenagem regenerativa	n/a	Máquinas sem engrenagem (gearless)		n/a		
Elevador 2	Inversor de frequência	n/a	frenagem regenerativa	n/a	Máquinas sem engrenagem (gearless)		n/a		
acrescentar quantas linhas forem necessárias									
CARACTERÍSTICAS DO CIRCUITO ELÉTRICO									
Nº de medidores individuais no edifício					Ambiente: caixa de distribuição				
Nº de pontos exclusivos para		TUGs	TUEs*	Iluminação		Outros usos finais			
*exceto condicionadores de ar					Condicionadores de ar				
Unidades em SI: m, m², m³, W ou kW, l, ou indicado na célula									

ANEXO 2 – PLANILHA DE FORNECIMENTO DE DADOS DA ENVOLTÓRIA

ENVOLTÓRIA					
Dados cadastrais		Proprietário Parque de Ciência e Tecnologia Guamá			
	Nome edifício CEAMAZON				
	Endereço Avenida Perimetral				
	No/Compl. nº 2651 Prédio 1		Bairro Guamá		
	Cidade Belém		UF PA	CEP 66077-830	
	Zona Bioclimática ZB8		Data 08/05/2012		
	_____		_____		
Proprietário		Inspetor			
DADOS DO EDIFÍCIO					
No. Pavimentos	3	No. Fachadas	6	Altura sem cx água	12.02
Altura total	15.05	Área de projeção horizontal	635.99	Área total de piso	1907.98
Área de cobertura	674.43	Área de envoltória	2462.59	Volume da edificação	6751.18
ABERTURAS					
Tipo de área para a abertura			Total	Orientação oeste	
Área de fachada			2462.59	515.76	
Área de vão vertical			291.19	8.17	
Área de abertura envidraçada vertical			195.42	8.17	
Área de vão zenital em projeção horizontal			0		
Área de abertura envidraçada zenital em proj horizontal			0		
TIPO DE MATERIAL - TRANSPARENTE OU TRANSLÚCIDO					
Material	Vidro liso transparente	Área	195.42	Fator Solar	0.86
Material		Área		Fator Solar	
Material		Área		Fator Solar	
acrescentar quantas linhas forem necessárias					
SOMBREAMENTO					
ÂNGULO VERTICAL DE SOMBREAMENTO			ÂNGULO HORIZONTAL DE SOMBREAMENTO		
Área	AVS	Área	AHS1	AHS2	AHS
Área	AVS	Área	AHS1	AHS2	AHS
Área	AVS	Área	AHS1	AHS2	AHS
acrescentar quantas linhas forem necessárias					
PAREDES					
Parede 1	Composição	Área	Absortância	Área	
Transmitância					
Parede 2	Composição	Área	Absortância	Área	
Transmitância					
Parede 3	Composição	Área	Absortância	Área	
Transmitância					
acrescentar quantas linhas forem necessárias					
COBERTURAS I					
Cobertura 1	Composição	Área	Condicionamento sob a cobertura		
Transmitância					
Cobertura 2	Composição	Área	Condicionamento sob a cobertura		
Transmitância					
acrescentar quantas linhas forem necessárias					
COBERTURAS II					
Cobertura 1	Composição	Área	Absortância	Área	
Absortância					
Cobertura 2	Composição	Área	Absortância	Área	
Absortância					
acrescentar quantas linhas forem necessárias					
ILUMINAÇÃO ZENITAL					
Material		Área	Fator Solar		
Material		Área	Fator Solar		
Material		Área	Fator Solar		
acrescentar quantas linhas forem necessárias					
Unidades em SI: m, m ² , m ³ , graus, W/m ² K.					


PLANILHA DE FORNECIMENTO DE DADOS DE ENVOLTÓRIA

ANEXO 3 – PLANILHA DE FORNECIMENTO DE DADOS DAS ABERTURAS

ENVOLTÓRIA										
Dados cadastrais										
	Proprietário					Parque de Ciência e Tecnologia Guamá				
	Nome edifício									
	CEAMAZON									
	Endereço									
	Avenida Perimetral									
	No/Compl.		nº 2651 Prédio 1			Bairro		Guamá		
Cidade		Belém		UF	PA	CEP		66077-830		
Zona Bioclimática			ZB8		Data		08/05/2012			
Proprietário					Inspetor					
RELAÇÃO DAS ABERTURAS VERTICAIS										
Nome	Local	Orientação	Quantidade	Área transparente	Tipo de vidro	FS	AVS	AHS1	AHS2	AHS
EA1	Secretaria, Diretoria, Sala de Reunião, Sala de Aula	Leste	8	2.43	Liso e incolor		30	21.2	21.2	21.2
EA1	Biblioteca, Lab. Físico-Químico, Lab. Sist. Motrizes	Norte	31	2.43	Liso e incolor		30	21.2	21.2	21.2
EA1	Sala de Aula	Oeste	2	2.43	Liso e incolor		30	21.2	21.2	21.2
EA1	Recepção	Leste	1	2.43	Liso e incolor		0	0	0	0
EA2	Espaço Multiuso	Sul	1	12.68	Liso e incolor		0	0	0	0
EA3	Espaço Multiuso	Sul	1	2.82	Liso e incolor		0	0	0	0
EA4	Auditório	Sul	1	1.04	Liso e incolor		20.66	33.12	40.15	36.635
EA4	Auditório	Norte	1	1.04	Liso e incolor		20.66	30.18	33.12	31.65
EA4	Cabine de Som	Norte	1	1.04	Liso e incolor		0	0	31.59	15.795
EA5	Auditório	Sul	1	0.56	Liso e incolor		0	13.32	79.25	46.285
EA6	Escada	Sul	2	0.36	Liso e incolor		0	0	0	0
EA6	Escada	Norte	2	0.36	Liso e incolor		0	0	0	0
EA7	Biblioteca e Lab. De Instalações elétricas	Leste	2	1.89	Liso e incolor		0	0	0	0
EA7	Lab. De Instalações Elétricas	Oeste	1	1.89	Liso e incolor		0	0	0	0
EA8	Lab. Sistemas Motrizes	Sul	1	1.71	Liso e incolor		22.97	35.62	35.62	35.62
EA9	Lab. Sistemas Motrizes	Sul	1	3.29	Liso e incolor		39.49	35.62	35.62	35.62
EA10 - 1º Pav.	Hall	Leste	1	0.73	Liso e incolor		11.66	78.5	69.93	74.215
EA10 - 1º Pav.	Hall	Leste	1	0.73	Liso e incolor		12.51	78.52	0	39.26
EA10 - 2º Pav.	Hall	Leste	1	0.73	Liso e incolor		15.97	78.49	69.92	74.205
EA10 - 2º Pav.	Hall	Leste	1	0.73	Liso e incolor		19.55	78.54	0	39.27
EA10 - 3º Pav.	Hall	Leste	1	0.73	Liso e incolor		45	78.54	69.96	74.25
EA10 - 3º Pav.	Hall	Leste	1	0.73	Liso e incolor		27.12	78.5	69.93	74.215
EA11	Sacada - LabConf.	Sul	1	4.24	Liso e incolor		48.96	0	19.74	9.87
EA12	Oficina	Sul	1	2.27	Liso e incolor		21.6	0	0	0
EA12	Oficina	Norte	1	2.27	Liso e incolor		21.55	0	0	0
EA13	Auditório	Sul	1	1.49	Liso e incolor		0	0	0	0
EA14	Cafeteria	Sul	1	5.4	Liso e incolor		0	0	0	0
adicionar quantas linhas forem necessárias										

PLANILHA DE FORNECIMENTO DE DADOS DE ENVOLTÓRIA

ANEXO 4 – PLANILHA DE FORNECIMENTO DE DADOS DE ILUMINAÇÃO


ILUMINAÇÃO															
	Proprietário: Parque de Ciência e Tecnologia Guamá Nome edifício: CEAMAZON Endereço: Avenida Perimetral No/Compl.: nº 2651 Prédio 1 Bairro: Guamá Cidade: Belém UF: PA CEP: 66077-830 Zona Bioclimática: ZB8 Data: 08/05/2012														
	Proprietário						Inspetor								
	Número de ambientes			Área iluminada			Método de cálculo			Atividades do edifício					
	52			1618,33											
DADOS DO AMBIENTE				DADOS DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO								PRÉ-REQUISITOS			
Ambiente	Pavto	Atividade	Área	K ou RCR	Iluminância	Tipo de luminária	Nº de luminárias	Potência (lâmpada)	Nº lâmpadas por luminária	Nº lâmpadas por reator	Potência conjunto	Potência total instalada	Divisão Circuitos	Luz Natural	Deslig. Automático
Audatório	1º Pav.	Audatório	134,2			Lum. Embulida p/ 2x26w	32	26	2	2	57,2	1830,4	sim	não	não
Sala de Apoio	1º Pav.	Audatório	9,06			Lum. Embulida p/ 2x26w	1	32	2	2	70,4	70,4	não	não	não
Cabine de som	1º Pav.	Audatório	3,93			Lum. Embulida p/ 2x26w	2	26	2	2	57,2	114,4	não	não	não
Espaço Multifuso	1º Pav.	Espaço Multifuso	94,78			Lum. Sobrepor p/ 2x26w	14	26	2	2	57,2	800,8	não	não	não
Recepção	1º Pav.	Escritório	7,97			Lum. Embulida p/ 4x16w	1	16	4	2	70,4	70,4	não	não	não
Secretaria	1º Pav.	Escritório	11,6			Lum. Embulida p/ 4x16w	2	16	4	2	70,4	140,8	não	não	não
Diretoria	1º Pav.	Escritório	11,6			Lum. Embulida p/ 4x16w	2	16	4	2	70,4	140,8	não	não	não
Cafeteria	1º Pav.	Lanchonete	20,93			Lum. Sobrepor p/ 2x26w	4	26	2	2	57,2	228,9	não	não	não
Copa/Cozinha	1º Pav.	Cozinhas	9,07			Lum. Embulida p/ 2x16w	1	32	2	2	70,4	70,4	não	não	não
WC Serviço	1º Pav.	Banheiro	2,2			Lum. Embulida p/ 2x16w	1	16	2	2	35,2	35,2	não	não	não
Hall	1º Pav.	Sala de espera / Convivência	107,5			Lum. Sobrepor p/ 2x26w	16	26	2	2	57,2	915,2	não	não	não
Bnhº PNE	1º Pav.	Banheiro	3,4			Lum. Embulida p/ 1x26w	1	26	1	1	26,6	26,6	não	não	não
Bnhº MASC.	1º Pav.	Banheiro	10,87			Lum. Embulida p/ 1x26w	3	26	1	1	26,6	85,8	não	não	não
Bnhº FEM.	1º Pav.	Banheiro	10,87			Lum. Embulida p/ 1x26w	3	26	1	1	26,6	85,8	não	não	não
Passarela	1º Pav.	Circulação	16,35			Lum. Sobrepor p/ 2x26w	2	26	2	2	57,2	114,4	não	não	não
Circulação	1º Pav.	Circulação	45,84			Lum. Sobrepor p/ 2x26w	6	26	2	2	57,2	343,2	não	não	não
Biblioteca	1º Pav.	Biblioteca - área de Leitura	106,2			Lum. Sobrepor p/ 4x16w	20	16	4	2	70,4	1408	não	não	não
Lab. De instalações elétricas	1º Pav.	Lab. De pesquisa	69,38			Lum. Sobrepor p/ 4x16w	12	16	4	2	70,4	844,8	não	não	não
Lab. De Análise Fisico-Química	1º Pav.	Lab. De pesquisa	52,51			Lum. Sobrepor p/ 4x16w	9	16	4	2	70,4	633,6	não	não	não
Lab. Sistemas Motrizes	1º Pav.	Lab. De pesquisa	60,96			Lum. Sobrepor p/ 4x16w	12	16	4	2	70,4	844,8	não	não	não
Sala de Aula 1	2º Pav.	Sala de Aula	52,56			Lum. Embulida p/ 4x16w	8	16	4	2	70,4	563,2	não	não	não
Sala de Aula 2	2º Pav.	Sala de Aula	52,52			Lum. Embulida p/ 4x16w	8	18	4	2	70,4	563,2	não	não	não
Hall	2º Pav.	Sala de espera / Convivência	95,42			Lum. Sobrepor p/ 2x26w	15	26	2	2	57,2	858	não	não	não
Sala de Reunião	2º Pav.	Sala de Reunião	17,11			Lum. Embulida p/ 4x16w	4	16	4	2	70,4	281,6	não	não	não
Bnhº PNE	2º Pav.	Banheiro	3,4			Lum. Embulida p/ 1x26w	1	26	1	1	26,6	26,6	não	não	não
Bnhº MASC.	2º Pav.	Banheiro	10,87			Lum. Embulida p/ 1x26w	3	26	1	1	26,6	85,8	não	não	não
Bnhº FEM.	2º Pav.	Banheiro	10,87			Lum. Embulida p/ 1x26w	3	26	1	1	26,6	85,8	não	não	não
Passarela	2º Pav.	Circulação	16,35			Lum. Sobrepor p/ 2x26w	2	26	2	2	57,2	114,4	não	não	não
Circulação	2º Pav.	Circulação	45,84			Lum. Sobrepor p/ 2x26w	6	26	2	2	57,2	343,2	não	não	não
Lab. Conforto Ambiental	2º Pav.	Lab. De pesquisa	59,24			Lum. Sobrepor p/ 4x16w	12	16	4	2	70,4	844,8	sim	sim	não
Lab. De Computação	2º Pav.	Lab. De pesquisa	70,21			Lum. Sobrepor p/ 4x16w	12	16	4	2	70,4	844,8	não	não	não
Lab. De Qualidade do Energia	2º Pav.	Lab. De pesquisa	70,21			Lum. Sobrepor p/ 4x16w	12	16	4	2	70,4	844,8	não	não	não
Lab. Sistemas Motrizes	2º Pav.	Lab. De pesquisa	60,96			Lum. Sobrepor p/ 4x16w	12	16	4	2	70,4	844,8	não	não	não
Hall	3º Pav.	Sala de espera / Convivência	33,29			Lum. Sobrepor p/ 2x26w	8	26	2	2	57,2	457,6	não	não	não
Bnhº PNE	3º Pav.	Banheiro	3,4			Lum. Embulida p/ 1x26w	1	26	1	1	26,6	26,6	não	não	não
Bnhº MASC.	3º Pav.	Banheiro	7,1			Lum. Embulida p/ 1x26w	2	26	1	1	26,6	57,2	não	não	não
Bnhº FEM.	3º Pav.	Banheiro	7,1			Lum. Embulida p/ 1x26w	2	26	1	1	26,6	57,2	não	não	não
Passarela	3º Pav.	Circulação	16,35			Lum. Sobrepor p/ 2x26w	2	26	2	2	57,2	114,4	não	não	não
Circulação	3º Pav.	Circulação	45,84			Lum. Sobrepor p/ 2x26w	6	26	2	2	57,2	343,2	não	não	não
Oficina	3º Pav.	Oficina	13,04			Lum. Sobrepor p/ 4x16w	3	16	4	2	70,4	211,2	não	não	não
Sala de Professor 1	3º Pav.	Escritório	17,11			Lum. Sobrepor p/ 4x16w	3	16	4	2	70,4	211,2	não	não	não
Sala de Professor 2	3º Pav.	Escritório	17,11			Lum. Sobrepor p/ 4x16w	3	16	4	2	70,4	211,2	não	não	não
Sala de Professor 3	3º Pav.	Escritório	17,11			Lum. Sobrepor p/ 4x16w	3	16	4	2	70,4	211,2	não	não	não
Sala de Professor 4	3º Pav.	Escritório	17,11			Lum. Sobrepor p/ 4x16w	3	16	4	2	70,4	211,2	não	não	não
Sala de Professor 5	3º Pav.	Escritório	17,11			Lum. Sobrepor p/ 4x16w	3	16	4	2	70,4	211,2	não	não	não
Sala de Professor 6	3º Pav.	Escritório	17,11			Lum. Sobrepor p/ 4x16w	3	16	4	2	70,4	211,2	não	não	não
Lab. De Aferição	3º Pav.	Lab. De pesquisa	34,81			Lum. Sobrepor p/ 4x16w	6	16	4	2	70,4	422,4	não	não	não
Escadas	1º Pav.	Escada	10,44			Arandela sobrepor	2	20	1	1	20	40	não	não	não
Escadas	2º Pav.	Escada	10,44			Arandela sobrepor	2	20	1	1	20	40	não	não	não
Escadas	3º Pav.	Escada	10,44			Arandela sobrepor	2	20	1	1	20	40	não	não	não

acrescentar quantas linhas forem necessárias

Unidades em SI: m, m², W, W/m², lux

PLANILHA DE FORNECIMENTO DE DADOS DE ILUMINAÇÃO

ANEXO 5 – PLANILHA DE FORNECIMENTO DE DADOS DE ILUMINAÇÃO

CONDICIONAMENTO DE AR													
Geral (todos os ambientes)													
Dados cadastrais			Proprietário Parque de Ciência e Tecnologia Guamá										
			Nome edifício CEAMAZON										
			Endereço Avenida Perimetral										
			No/Compl. nº 2651 Prédio 1			Bairro Guamá							
			Cidade Belém			UF PA	CEP 66077-830						
			Zona Bioclimática ZB8			Data 08/05/2012							
			_____ Proprietário					_____ Inspetor					
			No. ambientes condicionados		24		Área condicionada		927.4		Área útil		1659.22
Norma de carga térmica													
SISTEMAS DE CONDICIONAMENTO													
Unidades de janela			Unidades split				Sistema Central						
Área condicionada			Área condicionada				927.4		Área condicionada				
Ambiente	Área	Capacidade	Tipo	Pré-requisito	Ambiente	Área	Capacidade	Tipo	Pré-requisito				
Auditório	152.09	240000	split		Sala Prof. 4	17.1	12000	split	não				
Sala de Apoio	9.06	9000	split		Sala Prof. 5	17.1	12000	split	não				
Recepção	7.97	9000	split	sim	Sala Prof. 6	17.1	12000	split	não				
Secretaria	11.60	12000	split	sim	Lab. Aferição	34.8	30000	split	não				
Diretoria	11.60	12000	split	sim									
Biblioteca	106.23	90000	split	sim									
Lab. Inst. Elétricas	69.38	57000	split	sim									
Lab. Análise Físico-Química	52.51	48000	split	sim									
Lab. Sistemas Motrizes	60.96	48000	split	sim									
Sala de Aula 1	52.56	60000	split	sim									
Sala de Aula 2	52.52	60000	split	sim									
Sala de Reunião	17.10	18000	split	sim									
Lab. Conf.	59.20	60000	split	sim									
Lab. De computação	70.20	60000	split	sim									
Lab. Qualid. Energia	70.20	60000	split	sim									
Lab. Sist. Motrizes	61.00	57000	split	sim									
Oficina	13.00	12000	split	não									
Sala Prof. 1	17.10	12000											
Sala Prof. 2	17.10	12000											
Sala Prof. 3	17.10	12000											
acrescentar quantas linhas forem necessárias													
Unidades em m ² e Btu/h ou TR													

PLANILHA DE FORNECIMENTO DE DADOS DE CONDICIONAMENTO DE AR