



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE**

**APLICAÇÃO DO REGULAMENTO TÉCNICO DE NÍVEL DE QUALIDADE E
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM UMA EDIFICAÇÃO DE ENSINO SUPERIOR NO
NORDESTE DO BRASIL**

Cícero Fellipe Diniz de Santana

**Campina Grande-PB
Fevereiro, 2015**

Cícero Fellipe Diniz de Santana

**APLICAÇÃO DO REGULAMENTO TÉCNICO DE NÍVEL DE QUALIDADE E
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM UMA EDIFICAÇÃO DE ENSINO SUPERIOR NO
NORDESTE DO BRASIL**

Dissertação apresentada no Curso de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Área: Engenharia de Recursos Hídricos e Sanitária

Orientadores: Profa. Dra. Mônica de Amorim Coura
Profa. Dra. Celeide Maria Belmont Sabino Meira

**Campina Grande-PB
Fevereiro, 2015**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

- S232a Santana, Cícero Fellipe Diniz de.
Aplicação do regulamento técnico de nível de qualidade e nível de eficiência energética em uma edificação de ensino superior no Nordeste do Brasil / Cícero Fellipe Diniz de Santana .
– Campina Grande, 2015.
83 f. : il.
- Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2015.
- "Orientação: Prof^a. Dr^a. Mônica de Amorim Coura, Pro^a. Dr^a Celeide Maria Belmont Sabino Meira. ".
Referências.
1. Eficiência Energética. 2. RTQ-C. 3. Projeto Arquitetônico.
I. Coura, Mônica de Amorim. II. Meira, Celeide Maria Belmont Sabino. III. Título.
- CDU 621.3(043)


**APLICAÇÃO DO REGULAMENTO TÉCNICO DE NÍVEL DE QUALIDADE E
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM UMA EDIFICAÇÃO DE ENSINO SUPERIOR NO
NORDESTE DO BRASIL**

Dissertação aprovada em 25 de fevereiro de 2015

BANCA EXAMINADORA


Prof.^a. Dr.^a. Mônica de Amorim Coura


Prof.^a. Dr.^a. Celeide Maria Belmont Sabino Meira


Prof. Dr. Rui de Oliveira


Prof. Dr. Heber Pimentel Gomes

CAMPINA GRANDE-PB

FEVEREIRO, 2015

AGRADECIMENTOS

A Deus, meu Senhor e Salvador que me ilumina e guia todos os passos da minha vida.

A minha família, por acreditar na minha capacidade e que meu empenho seria recompensado com o conhecimento que obtive durante o processo de aprendizagem e amadurecimento.

Aos meus grandes MESTRES, professora Dra. Celeide Maria Belmont, professor Dr. Rui de Oliveira, e a professora Dra. Mônica de Amorim Coura por terem sido, nestes dois anos, fonte de inspiração para minha carreira profissional e para minha vida pessoal.

Ao examinador externo, Professor Dr. Heber Pimentel, pela contribuição científica, na análise do trabalho e enriquecimento do conteúdo.

A minha namorada Larissa Câmara, pela compreensão e companheirismo durante o período de mestrado.

A todos os colegas do Laboratório de Conservação em Energia Elétrica da UEPB, aos alunos do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental que fizeram parte dessa conquista, mestrandos e em especial a Emanuel, Cássio, Cayo, Ogata, Elenilson, Juscelino, Clarissa, Tiago, Vinicius, Andretti, Wilza e Ewson, pela disponibilidade e dedicação em aprender e disseminar conhecimento.

Aos meus amigos pelo companheirismo e auxílio durante esta fase importante da minha vida.

Aos meus companheiros de mestrado e eternos amigos que dedicaram grande parte dos dias estudando, com o compromisso de sair desta universidade com o máximo de aproveitamento possível, demonstrando que o conhecimento deve ser compartilhado com todos que querem realmente aprender.

Aos professores que realmente passaram não só conhecimentos necessários, mas também, experiências de vida.

A Universidade Federal de Campina Grande pelo investimento em educação que propicia às camadas mais frágeis da sociedade educação de boa qualidade.

Enfim, a todos os que propiciaram e ajudaram na minha titulação de Pós-graduado em Engenharia Civil e Ambiental.

RESUMO

Como resultado dos avanços no desenvolvimento sustentável do Brasil, foi aprovado conforme a Portaria nº 372/2010 do Ministério de Minas e Energia, o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Esse regulamento visa à etiquetagem de edificações no Brasil, classificando-as pelo nível de eficiência energética e baseando-se em três sistemas individuais: envoltória, iluminação e condicionamento de ar. Os métodos para aplicação do RTQ-C são o prescritivo e o de simulação. Este trabalho apresenta os níveis encontrados na Central de Aulas da Universidade Estadual da Paraíba, em Campina Grande-PB, pelo método prescritivo do RTQ-C. Foram analisados os principais fatores interferentes na avaliação da classificação final da edificação, sendo verificado que na fase de projeto foi atingido nível de eficiência energética superior ao da edificação construída, entretanto, conclui-se que a partir de medidas simples e de baixo custo é possível elevar ao nível máximo de eficiência da construção.

Palavras-chave: Eficiência energética. RTQ-C. Projeto arquitetônico.

ABSTRACT

As a result of advances in sustainable development of the Brazil, was approved according to the Ordinance No. 372/2010 the Technical Regulations of the Quality Level of Energy Efficiency of Commercial Buildings, Service and Public (RTQ-C). The regulation aims labeling of buildings in Brazil, ranking them by the level of energy efficiency and relying on three individual systems: energy performance assessment, lighting and air conditioning. Methods for the application of the RTQ-C are the prescriptive and simulation. This work presents the levels found in the Classroom Center, State University of Paraíba in Campina Grande-PB, the prescriptive method of RTQ-C. From the results, it was found the major interfering factors in evaluating the final rating of the plant higher than the built building, however, concluded that from simple and low-cost measures can raise the maximum level of efficiency of construction.

Keywords: Energy efficiency. RTQ-C. Architectural Design.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Área condicionada.
ANC	Área não condicionada.
Aenv	Área da envoltória.
AHS	Ângulo horizontal de sombreamento.
ANC	Área não condicionada.
APT	Área de permanência transitória.
AQUA	Alta qualidade ambiental.
Apcob	Área de projeção da cobertura.
Ape	Área de projeção do edifício.
ASHRAE	<i>American society of heating, refrigerating and air - conditioning engineers.</i>
AU	Área útil.
AVS	Ângulo vertical de sombreamento.
B	Pontuação obtida em bonificações.
BEN	Balanco Energético Nacional.
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia.
EqNumCA	Equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar.
EqNumDPI	Equivalente numérico do sistema de iluminação.
EqNumEnv	Equivalente numérico da envoltória.
EqNumV	Equivalente numérico dos ambientes não condicionados e /ou ventilados naturalmente.
FA	Fator de altura.
FF	Fator de forma.
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial.
LabEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações.
PAF	Percentual de abertura na fachada.
PAFo	Percentual de abertura na fachada oeste.
PAFt	Percentual de abertura na fachada total.
PAZ	Percentual de abertura zenital.
POC	Percentual de horas ocupadas em conforto.
Procel	Edifica Plano de ação para Eficiência Energética em Edificações.
PT	Pontuação total alcançada pelo edifício.

RTQ-C	Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos.
TMY	<i>Typical Meteorological Year.</i>
TRY	<i>Test Reference Year.</i>
Ucob	Transmitância térmica da cobertura.
UEPB	Universidade Estadual da Paraíba.
Upar	Transmitância térmica das paredes.
Vtot	Volume total da edificação.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Mapa do Brasil com as zonas bioclimáticas. Destaque para a cidade de Campina Grande-PB, localizada na Z8.....	17
Figura 2.2 – Carta bioclimática de Campina Grande-PB.....	17
Figura 2.3 – A ação das trocas térmicas em fechamentos transparentes.....	27
Figura 2.4 – Proteção solar vertical com AHS de 10° à esquerda. Proteção solar horizontal com AVS de 45°, à direita.....	29
Figura 2.5 – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia.....	
Indicador não definido. –	41
Figura 3.1 – Planta baixa da Central de Integração Acadêmica da UEPB.....	44
Figura 3.2 – Central de Integração Acadêmica, Campus I da Universidade estadual da Paraíba. (a) Fachada Sul e (b) Fachada Leste.....	45
Figura 3.3 – Classificação do Índice de Consumo.....	50
Figura 3.4 – Layout do programa com a edificação estudada na fase de projeto (a) e na fase de execução (b).....	57
Figura 3.5 – Definição das características do projeto arquitetônico (a) e projeto executado (b) para simulação.....	58
Figura 4.1 – Valores para o IC e os limites para cada nível da envoltória na fase de projeto (a) e na fase de execução (b).....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Valores de α para algumas cores de superfícies.....	23
Tabela 2.2 – Densidade e condutividade de alguns materiais.....	24
Tabela 2.3 – Transmitância térmica de alguns tipos de paredes.....	25
Tabela 2.4 – Equivalente numérico para ventilação natural.....	39
Tabela 2.5 – Classificação geral.....	39
Tabela 2.6 – Equivalente numérico para cada nível de eficiência energética.....	40
Tabela 3.1 – Fator de forma máximo e mínimo por zona bioclimática.....	48
Tabela 3.2 – Parâmetros do índice de consumo máximo.....	49
Tabela 3.3 – Limite dos intervalos dos índices de eficiência.....	50
Tabela 3.4 – Valores do fator A em função da velocidade do ar.....	56
Tabela 3.5 – Equivalentes numéricos para ventilação natural.....	56
Tabela 3.6 – Equivalente numérico para cada nível de eficiência (EqNum).....	58
Tabela 4.1 – Dados necessários para o método prescritivo.....	59
Tabela 4.2 – Índices de consumo limites para os níveis de eficiência.....	60
Tabela 4.3 – Limite máximo de densidade de potência de iluminação (DPI _L).....	63
Tabela 4.4 – Levantamento das áreas de permanência prolongada dos pavimentos da planta da Central de Aulas.....	63
Tabela 4.5 – Potência limite do projeto arquitetônico e do projeto executado.....	63
Tabela 4.6 – Potência instalada do sistema de iluminação dos pavimentos.....	64
Tabela 4.7 – Distribuição dos aparelhos de condicionamento de ar na CIA.....	66
Tabela 4.8 – Características de desempenho dos aparelhos de ar condicionado.....	66
Tabela 4.9 – Características dos aparelhos de condicionamento de ar nas bibliotecas 1 e 2 do Pavimento 1.....	67
Tabela 4.10 – Características dos aparelhos de condicionamento de ar nos auditórios 1 e 2 do Pavimentos 2.....	67
Tabela 4.11 – Características dos aparelhos de condicionamento de ar no auditório do Pavimento 3.....	67
Tabela 4.12 – Elementos de ponderação para determinação do nível de eficiência do sistema de condicionamento de ar do Pavimento 1.....	68
Tabela 4.13 – Percentual de conforto, EqNumV e classificação de cada área não condicionada.....	68
Tabela 4.14 – Eficiência das bibliotecas do Pavimento 1 através ponderação por potência.....	69
Tabela 4.15 – Variáveis de pontuação total da edificação estudada nas fases de projeto e de execução.....	69
Tabela 4.16 – Resultados da pontuação total em função do equivalente numérico.....	70
Tabela 4.17 – Pontuação total para os cenários analisados sobre a importância da simulação da ventilação natural.....	71

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 – Síntese dos pré-requisitos da envoltória.....	46
Quadro 3.2 – Limites de transmitância térmica, absorvância e iluminação zenital para as paredes e cobertura na Zona Bioclimática 8.....	47
Quadro 3.3 – Agrupamento das Zonas Bioclimáticas.....	48
Quadro 3.4 – Comparação de parâmetros nas equações IC.....	49
Quadro 3.5 – Transmitância térmica de acordo com nível de eficiência para a Zona Bioclimática 8.....	51
Quadro 3.6 – Relação entre pré-requisitos e níveis de eficiência.....	53
Quadro 3.7 – Distribuição dos circuitos dos pavimentos da central de aulas da UEPB.....	53
Quadro 4.1 – Pré-Requisitos para classificação dos níveis de eficiência energética.....	59

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Objetivos	16
1.1.1 <i>Objetivo Geral</i>	16
1.1.2 <i>Objetivos Específicos</i>	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 Conforto térmico e condições bioclimáticas	17
2.2 Arquitetura bioclimática	18
2.3 Zoneamento bioclimático brasileiro	18
2.4 Eficiência energética em edificações	20
2.4.1 <i>Métodos internacionais de avaliação</i>	20
2.4.2 <i>Métodos brasileiros de avaliação</i>	22
2.4.3 <i>Edificações avaliadas no Brasil</i>	23
2.5 Envoltória	24
2.5.1 <i>Elementos opacos</i>	24
2.5.2 <i>Absortância e Refletância</i>	25
2.5.3 <i>Condutividade térmica</i>	26
2.5.4 <i>Resistência térmica</i>	26
2.5.5 <i>Transmitância térmica</i>	27
2.5.6 <i>Capacidade térmica</i>	27
2.5.7 <i>Fechamentos transparentes</i>	28
2.5.8 <i>Proteções solares</i>	30
2.6 Sistema de iluminação	31
2.6.1 <i>Sistema de iluminação eficiente</i>	33
2.7 Sistema de condicionamento de ar	35
2.7.1 <i>Etiquetagem do condicionamento de ar</i>	36
2.8 Ventilação natural	37
2.8.1 <i>Simulação da Ventilação natural</i>	38
2.8.2 <i>Programa Designbuilder</i>	40
2.9 Bonificações	41
2.10 Requisitos técnicos do nível de qualidade e eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos - RTQ-C	42
2.10.1 <i>Etiqueta nacional de conservação de energia (ENCE)</i>	43
3.0 METODOLOGIA	45
3.1 Envoltória	47
3.1.1 <i>Determinação da transmitância térmica</i>	48

3.1.2	<i>Determinação da absortância</i>	49
3.1.3	<i>Determinação do nível de eficiência energética da envoltória</i>	49
3.1.4	<i>Pré-requisitos específicos da envoltória</i>	53
3.2	Classificação do sistema de iluminação	54
3.2.1	<i>Projeto luminotécnico</i>	54
3.2.2	<i>Determinação do nível de eficiência da iluminação</i>	54
3.3	Projeto elétrico do edifício	55
3.4	Classificação do sistema de condicionamento de ar	56
3.5	Simulação da ventilação natural	57
3.6	Classificação final da edificação quanto ao nível de eficiência energética	60
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
4.1	Classificação do nível de eficiência energética da envoltória	62
4.1.1	<i>Atendimento aos pré-requisitos</i>	64
4.2	Nível de eficiência do sistema de iluminação	65
4.2.1	<i>Atendimento aos pré-requisitos da iluminação</i>	67
4.3	Nível de eficiência do condicionamento de ar	69
4.4	Simulação da ventilação natural para obtenção do POC	71
4.5	Pontuação Total	72
4.6	Importância simulação da ventilação natural na etiquetagem da edificação	73
5.0	DISCUSSÕES	75
6.0	CONCLUSÕES	77
7.0	RECOMENDAÇÕES	78
	REFERÊNCIAS	79

1 INTRODUÇÃO

A expressão sustentabilidade tem sido amplamente explorada nos meios de comunicação e estudada pela comunidade científica, encarada como uma qualidade atribuída ao desenvolvimento. O apreço pelo termo está associado com a ideia de desenvolvimento sustentável, que vem sendo difundido na sociedade, devido à crescente preocupação com as crises social e ambiental.

No Brasil a Lei nº 10.295, que dispõe sobre a política nacional de conservação e uso racional de energia, leva em consideração a proposta do desenvolvimento associado ao uso dos recursos energéticos e à preservação do meio ambiente. Mas, desde 1985, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), executado pela Eletrobrás, com vistas ao uso eficiente da energia elétrica, combate ao desperdício e à redução de custos e investimentos setoriais. Em 2003, foi instituído o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações (Procel Edifica) que organizou e ampliou ações com o objetivo de incentivar a conservação e o uso eficiente dos recursos naturais (água, luz, ventilação, etc.) nas edificações, minimizando desperdícios e impactos ao meio ambiente. Também objetiva o desenvolvimento da regulamentação técnica para etiquetagem de edifícios, cuja aplicação beneficia o mercado para edificações com gestão de energia mais eficiente.

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2013), edifícios públicos e comerciais têm apresentado crescimento relevante no consumo de energia no país. A avaliação da eficiência energética é uma das inovações no planejamento das edificações, representando impactos positivos na construção civil, no consumo de energia e mantendo a produtividade com o uso dos recursos naturais de forma racional.

Segundo o anexo da Portaria INMETRO nº 163 (BRASIL, 2009), a etiquetagem das edificações comerciais, de serviços e públicas deve ser baseada no nível de eficiência energética e realizada através da aplicação do regulamento específico dos requisitos técnicos.

A Central de Integração Acadêmica da Universidade Estadual da Paraíba (CIA-UEPB), edifício público de caráter institucional, na cidade de Campina Grande – PB, inserida no semiárido nordestino, é o objeto de estudo deste trabalho para a aplicação dos Requisitos Técnicos da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). A eficiência energética da edificação foi analisada com base na classificação dos sistemas individuais, nas fases de projeto e de obra concluída.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Aplicar o regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética dos edifícios comerciais, de serviços e públicos (RTQ-C) a uma edificação pública de ensino superior em Campina Grande-PB.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a edificação de acordo a classificação parcial para cada sistema individual (envoltória, sistema de iluminação e condicionamento de ar), nas fases de projeto e de execução;
- Analisar os fatores interferentes na classificação parcial dos sistemas individuais (envoltória, sistema de iluminação e condicionamento de ar);
- Definir as etiquetas da edificação nas fases de projeto e execução.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A bioclimatologia é fundamental para a avaliação de uma edificação pela interferência dos fenômenos naturais na determinação do nível de eficiência energética e conforto ambiental (OLGYAY, 1968).

2.1 Conforto térmico e condições bioclimáticas

Ao longo da história do homem, o conforto térmico tornou-se uma preocupação frequente, relacionada ao bem estar. Quanto mais sofisticadas as civilizações se tornam, maior é a exigência com relação ao conforto e à comodidade (BRUM, 2011).

A norma NBR 15220-1 (ABNT, 2005b) define conforto térmico como a “satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente” e sua avaliação é baseada na análise do balanço térmico entre o indivíduo e o ambiente a sua volta. A Parte 3 dessa norma (ABNT, 2005d) estabelece as diretrizes construtivas para cada zona bioclimática brasileira tendo em vista a otimização do desempenho térmico da edificação. As Partes 4 (ABNT, 2013b) e 5 (ABNT, 2013c) da norma NBR 15575, sobre o desempenho de edifícios habitacionais, estabelecem características de transmitância e capacidade térmicas e absorvância solar para os componentes de paredes e coberturas, que estão divididos em uma escala de classificação de desempenho mínimo, intermediário e superior, de acordo com as zonas bioclimáticas. As abordagens sobre o desempenho energético das edificações evoluíram desde formas bem qualitativas até critérios baseados em fundamentações científicas, refletindo a importância do tema.

Estudos sobre o conforto térmico foram impulsionados por Olgyay (1963), que idealizou e desenvolveu uma Carta Bioclimática, mais tarde corrigida e adaptada por Givoni (1969). Trabalhos realizados em câmaras climatizadas, principalmente os feitos por Fanger (1970), na Dinamarca, cujos modelos são utilizados até hoje, serviram de referência para a norma ISO 7730 (ISO, 2005), que apresenta métodos para prever a sensação térmica geral e grau de desconforto de pessoas expostas ambientes térmicos a moderada.

À medida que as pesquisas foram avançando, mais estudos com câmaras climatizadas foram realizados, mas em condições mais realistas remetendo ao cotidiano. Conforme os avanços dos estudos, Givoni (1992) propôs estratégias bioclimáticas para os edifícios, visando à melhoria do seu desempenho térmico. Os dados climáticos (temperatura

e umidade do ar) de uma localidade foram plotados, mês a mês, na carta, identificando as estratégias para tornar o ambiente confortável.

2.2 Arquitetura bioclimática

A arquitetura bioclimática visa à harmonização das construções com o meio ambiente de forma a otimizar a utilização dos naturais disponíveis, possibilitando conforto ao homem em harmonia com a natureza. A Arquitetura Bioclimática envolve a estruturação do projeto arquitetônico de acordo com as características bioclimáticas de cada local (BRUM, 2011).

A arquitetura bioclimática necessita levar em consideração fatores como a saúde e o desempenho pleno do ser humano nas atividades exercidas. Recentemente, arquitetos e engenheiros têm procurado desenvolver e executar projetos que levam em consideração a sustentabilidade, utilizando racionalmente os recursos naturais visando a redução de impactos ambientais e a otimização do conforto. Na prática da arquitetura bioclimática a orientação espacial, o sentido das correntes de ar naturais e os fatores limitantes passam a ter significativa influência sobre a construção.

2.3 Zoneamento bioclimático brasileiro

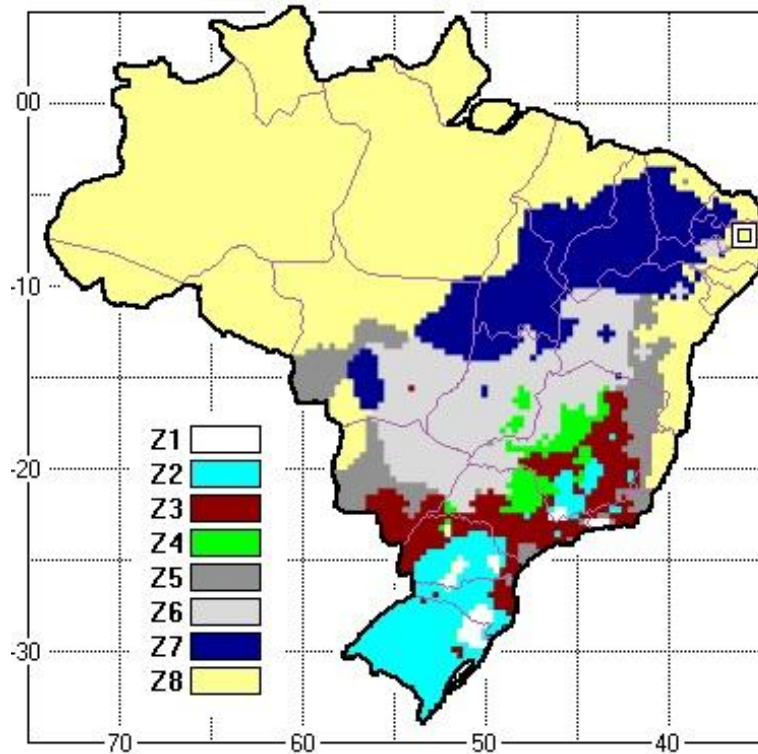
Roriz, Guisi e Lamberts (1999) em “Uma Proposta de Norma Técnica Brasileira sobre o Desempenho Térmico de Habitações Populares” apresentam a metodologia para definir a base de dados climáticos no Brasil. O território brasileiro foi dividido em 6.500 células, cada uma com 1.296 km² de área, diferenciados pela posição geográfica, pelas médias mensais de umidades relativas do ar e pelas temperaturas máximas e mínimas. A carta bioclimática do Brasil foi adaptada por esses autores a partir da carta sugerida por Givoni (1992), como a melhor representação da realidade climática brasileira.

O zoneamento bioclimático brasileiro (Figura 2.1), com destaque para a cidade de Campina Grande, PB, tem o propósito de auxiliar na adequação das edificações ao clima, com vistas à melhoria do seu desempenho térmico.

Da carta bioclimática do município de Campina Grande (Figura 2.2) foi verificado que 24,62% das horas anuais encontram-se na Zona de Conforto, 60,10% na Zona de

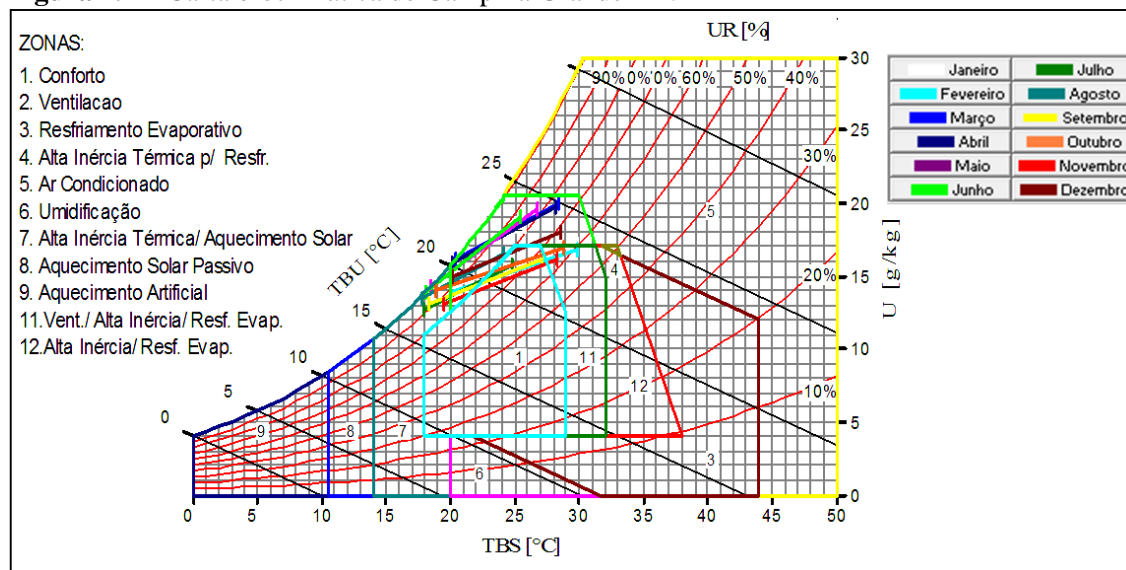
Ventilação, 5,75% na Zona de Ventilação/Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo e 9,53% na Zona de Aquecimento Solar Passivo/Alta Inércia Térmica.

Figura 2.1 – Mapa do Brasil com as zonas bioclimáticas, destaque para a cidade de Campina Grande-PB, localizada na Z8.



Fonte: ABNT, 2005b.

Figura 2.2 – Carta bioclimática de Campina Grande-PB.



Fonte: LABEEE, 2014.

A cidade de Campina Grande (PB), onde fica o objeto de estudo deste trabalho, de acordo com o zoneamento bioclimático, está inserida na zona bioclimática 8. As diretrizes construtivas, apresentadas na NBR 15220-3 (ABNT, 2005d), são as seguintes: as áreas de abertura para ventilação devem ocupar mais do que 40% da área do entorno em relação à área do piso; no verão, ventilação cruzada permanente, com a necessidade de refrigeração artificial nos interiores e sombreamento das aberturas.

2.4 Eficiência energética em edificações

Segundo Pacheco et al. (2013), um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições de conforto ambiental com um menor consumo de energia. Para complementar essa afirmação, Goulart (2008) alega que, através do uso consciente da energia no edifício, ao lado da incorporação de fontes alternativas de energia, busca-se a diminuição no seu consumo global. Assim, os projetos dos edifícios precisam atender a proposta de eficiência energética desde a sua concepção.

2.4.1 Métodos internacionais de avaliação

Os critérios avaliativos de ambientes com ventilação natural são diferentes daqueles para edificações com sistemas mecânicos de resfriamento (OLESEN, 2007).

Alguns modelos correlacionam as temperaturas externa e interna de um edifício, admitindo que os usuários tenham a capacidade de se adaptar às variações sazonais e ao clima da região. Entretanto, a temperatura confortável varia dependendo do indivíduo, da estação do ano e da localidade.

O modelo de conforto adaptativo está baseado em correlações medidas entre a impressão subjetiva de conforto descrita pelos ocupantes e a temperatura interior, em centenas de edifícios reais (SORGATO, 2009). As teorias estabelecidas para os modelos adaptativos consideram a relevância da expectativa e das preferências térmicas dos ocupantes, além dos fatores físicos e fisiológicos.

A ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2005) é uma norma internacional que estabelece as condições térmicas aceitáveis em locais ventilados naturalmente. A zona de conforto térmico é uma relação da média da temperatura externa com a interna, não apresentando limites para valores de umidade e velocidade do ar. A aceitabilidade dos

indivíduos para a faixa de temperatura de conforto de 17°C a 31°C é de 80% e para a faixa entre 18,5°C e 30,5°C é de 90%.

A norma europeia EN 15251 (EUROPEAN STANDARD, 2007) define quatro categorias e estabelece parâmetros a usar no projeto e avaliação do desempenho térmico de edifícios. A primeira categoria, para nível elevado de expectativa, e é recomendado para espaços ocupados por pessoas sensíveis e frágeis, com requisitos especiais como deficiências, doentes, recém-nascidos e idosos. A segunda categoria, para nível normal de expectativa, deve ser usado em edifícios novos ou remodelados. A terceira, aceitável para nível moderado, pode ser aplicada em edifícios existentes. A quarta e última categoria abrange valores fora das categorias anteriores.

Essa norma apresenta a zona de temperaturas de conforto para edificações sem sistemas de refrigeração mecânica, estimada através da média da temperatura externa do ar da semana anterior, além de considerar o efeito da velocidade do ar para o conforto dos ocupantes. A norma vale para edificações de caráter comercial, habitações ou com funções semelhantes, para as quais não haja esforço físico considerável (taxa metabólica variando de 1,0 a 1,3 TMB). É interessante que os usuários tenham a possibilidade de operar as aberturas e alterar a vestimenta, livremente.

No verão, quando o ambiente apresenta temperatura operativa maior que 25°C, pode-se compensar esse efeito com o aumento da velocidade do ar interno, através de sistemas ventiladores que permitam ao usuário, ajustar a velocidade dos ventos. Como o aumento é limitado à velocidade máxima de 0,8 m/s, a temperatura de conforto atinge a amplitude térmica de 2,7°C.

Segundo Givoni (1992), em locais de clima quente e úmido, os valores indicados para os limites de temperatura de conforto na estação do inverno são de 18°C a 25°C e para o verão de 20°C a 29°C. Recomenda na avaliação do desempenho térmico das edificações, para estes locais, o uso dos critérios descritos na norma europeia EN 15251.

A carta de Givoni (1992) baseia-se em temperaturas internas da edificação, apresentando estratégias construtivas adequadas para o clima. Essa carta corrigiu algumas limitações do diagrama de Olgyay (1969), aplicado estritamente para as condições externas (LAMBERTS et al., 2004). Para os países em desenvolvimento, a carta bioclimática de Givoni (1992) se adapta melhor aos climas quentes e úmidos.

Devido ao efeito causado pela interferência da velocidade do ar na perda do calor por convecção e evaporação, ocorrem variações nas condições de conforto dos ambientes.

De acordo com Santamouris (SANTAMOURIS 2006a), nos climas quentes os ambientes internos deveriam ter uma velocidade ideal do ar na faixa de 1,0 a 1,5 m/s. Santamouris (SANTAMOURIS, 2006b) também propõe que, para atividades leves, a velocidade ideal do ar seria entre 0,2 e 1,5 m/s.

A literatura afirma que pessoas que moram em países quentes e em desenvolvimento, estão, em grande parte do tempo, em locais não climatizados. As populações dessas localidades são mais tolerantes a temperaturas mais altas. Segundo estudos, uma alteração na velocidade do ar de 0,1 m/s para 1,5 m/s aumenta até 2°C a temperatura máxima de conforto. É interessante perceber as diferenças que existem entre diferentes autores quando se referem aos intervalos de temperatura que proporcionam o conforto térmico, pois o fator que mais dificulta a exatidão da faixa ideal para identificar o ambiente termicamente adequado é o ponto de vista do ocupante da edificação, dando aos conceitos um aspecto de relatividade, sendo o conforto térmico um conceito que deve andar compatível com as necessidades do homem no ambiente em que se encontra.

2.4.2 Métodos brasileiros de avaliação

No Brasil está em vigor a NBR 15220 (ABNT, 2005a) que trata dos conceitos e aspectos relacionados ao desempenho térmico de edificações. Tal norma contempla os métodos de cálculo e medição das propriedades térmicas dos componentes construtivos das edificações. É dividida em cinco partes e em sua terceira parte encontra-se o zoneamento bioclimático brasileiro.

A NBR 15220-3 (ABNT, 2005d) também recomenda estratégias para o condicionamento térmico passivo associado às propriedades térmicas dos componentes construtivos, tais como: ventilação cruzada, resfriamento evaporativo, massa térmica, entre outros. A partir dos valores de resistência térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar são feitas as caracterizações das paredes e coberturas. Foram definidas para cada zona bioclimática as propriedades térmicas dos elementos de construção de acordo com as características bioclimáticas de uma determinada região. As áreas de ventilação e proteção para sombreamento das aberturas são também objetos de recomendações.

As estratégias de condicionamento ambiental recomendadas pela NBR 15220-3 foram baseadas na carta bioclimática de Givoni (1992) e nas planilhas de Mahoney (KOENIGSBERGER et al., 1970).

Em 2013 foi reformulada a norma NBR 15575, sobre o desempenho de edificações habitacionais, dividida em seis partes. A quarta e quinta partes tratam, respectivamente, dos sistemas de vedações verticais internas e externas e de sistemas de cobertura. Esses sistemas estão classificados em uma escala de desempenho mínimo, intermediário e superior de acordo com as zonas bioclimáticas.

As recomendações dos parâmetros adotadas são praticamente as mesmas da NBR 15220, exceto o fator solar e o atraso térmico. A avaliação do desempenho térmico utiliza os valores limites de temperatura do ar no interior da edificação, para as estações de verão e inverno. Embora baseado na temperatura do ar do interior dos ambientes de permanência prolongada, o desempenho térmico da edificação ainda não leva em consideração o acréscimo de calor por ocupação, iluminação e equipamentos.

Para ambientes de permanência prolongada a NBR 15575 recomenda pequenas aberturas para ventilação na Zona Bioclimática 7 (a área deve ser maior ou igual a 5% da área do piso), aberturas médias (a área deve ser maior ou igual a 8%) nas Zonas 1 a 6 e aberturas grandes (a área deve ser maior ou igual a 15% da área do piso) na Zona 8.

Além do atendimento às normas regulamentadoras, a área de ventilação dos ambientes deve atender também aos critérios estabelecidos pelos códigos de obras dos municípios que, em geral, estabelecem para ambientes de permanência prolongada, a área mínima de 1/8 (um oitavo) a 1/6 (um sexto) da área do piso.

2.4.3 Edificações avaliadas no Brasil

Segundo Lamberts et al. (2007), a primeira iniciativa no âmbito de legislações efetivamente instituídas para promover a eficiência energética no país surgiu como consequência da crise de energia de 2001, porém as normas brasileiras, atualmente em vigor, usadas na avaliação de edifícios no Brasil são a NBR 15220 (ABNT, 2005a) e a NBR 15757 (ABNT, 2013a) que resultaram de discussões iniciadas em 1991 (CARLO; LAMBERTS, 2010). Essas normas apresentam requisitos e especificações para edifícios em relação ao desempenho térmico, entretanto não há nenhum parâmetro que vise à eficiência energética de maneira direta, além de serem direcionadas apenas para edificações residenciais.

Em fevereiro de 2009 foi aprovado (BRASIL, 2009) o Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). A iniciativa foi

fundamentada na Lei nº 10.295/2001 que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia (BRASIL, 2001b), regulamentada pelo Decreto nº 4.059, de 19 de outubro de 2001 (BRASIL, 2001a).

O RTQ-C especifica requisitos técnicos, bem como métodos para classificar a eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos, com vistas à implantação da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). A adesão à ENCE ainda é de caráter voluntário, mas a partir de 4 de junho de 2014 as novas edificações públicas federais são obrigadas a aderir ao referido sistema de etiquetagem, conforme Instrução Normativa Nº 2 da secretária de logística e tecnologia da informação do ministério do planejamento, orçamento e gestão, publicada no Diário Oficial da União de 5 de junho de 2014, devendo ser planejadas para atingir o melhor nível de eficiência energética.

A avaliação da eficiência energética pode ser realizada através do método prescritivo e/ou do método de simulação, aplicados aos sistemas parciais (envoltória, iluminação e condicionamento de ar) da edificação.

2.5 Envoltória

A envoltória é constituída por planos que separam o ambiente interno do ambiente externo da edificação, interferindo no seu desempenho energético e conforto térmico.

Na envoltória, são encontrados componentes opacos e translúcidos que têm a capacidade de transmitir ou não radiação solar para o interior do ambiente. A intensidade das trocas energéticas através desses componentes será resultante de propriedades físicas dos materiais, tais como transmitância, condutividade e capacidade térmicas e absorvância solar.

2.5.1 Elementos opacos

As paredes de uma construção, componente que funciona como o fechamento opaco, constituem a parte da envoltória que não transmite diretamente a radiação solar para o interior da edificação e cria uma barreira térmica para passagem do calor de um meio para outro. Nos elementos opacos, a transmissão de calor ocorre pela diferença de temperatura encontrada nas superfícies, da maior para a menor. Através da condução, irradiação e convecção, promovida pela movimentação das massas de ar, alterando o conforto e na eficiência energética.

2.5.2 Absortância e Refletância

As características dos materiais utilizados nos componentes da envoltória, que influenciam na avaliação da edificação e que dependem dos tipos de material utilizado sobre raios solares, são considerados através dos coeficientes de absorção e de reflexão. As trocas de calor que ocorrem na superfície do edifício, provenientes da radiação solar, são absorvidas ou refletidas, elevando assim sua temperatura. Dependendo do material e da pintura, os fenômenos envolvendo tais fatores podem variar, pois estes atuam como um filtro que tanto pode absorver a radiação do sol como também refleti-la.

Em relação à absortância, em norma, são utilizados valores estimados cientificamente através de metodologias específicas. Dornelles (2014) analisou o efeito da rugosidade superficial sobre a absortância solar de amostras pintadas com diferentes cores de tintas, cujos resultados indicaram que a rugosidade aumenta linearmente a absortância das superfícies e comprovou que apenas a cor não é fator determinante da absortância de uma superfície opaca. O estilo da pintura escolhida no acabamento para uma determinada cor pode implicar na quantidade de raios solares absorvidos, tais como os estilos metálico e fosco. Há ainda as tintas a óleo, que deixam a superfície com aspecto mais brilhante.

A refletância, segundo a norma consiste no “quociente da taxa de radiação solar refletida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície” (ABNT, 2005b). Esta não é totalmente dependente da absortância, embora contribua para a obtenção dos valores da mesma. A Tabela 2.1 apresenta os valores de absortância para realização dos cálculos. Os valores muitas vezes são genéricos e imprecisos, pela sensação cromática percebida pelo olho humano, que varia para cada indivíduo, portanto, embora sendo utilizada para avaliação técnica.

Tabela 2.1 – Valores de α para algumas cores de superfícies

COR	COEFICIENTE DE ABSORÇÃO PARA RADIAÇÃO SOLAR (ONDA CURTA)
Branco	0,20
Amarelo	0,30
Verde claro	0,40
“Alumínio”	0,40
Verde escura	0,70
Vermelha	0,74
Preta	0,97

Fonte: ABNT, 2005c

2.5.3 Condutividade térmica

Trata-se de uma propriedade física dos materiais relacionada à capacidade de transmitir calor de um ponto para outro ou de um material para outro.

Tabela 2.2 – Densidade e condutividade de alguns materiais

MATERIAL/ELEMENTO	MASSA ESPECÍFICA APARENTE (Kg/m ³)	CONDUTIVIDADE (W/m K)
Ar seco	1,29	0,02
Poliestireno expandido	30	0,04
Cortiça	200	0,05
Madeira	800	0,20
Água	1000	0,62
Mármore	2700	3,40
Aço	7780	52,00
Cobre	8930	380,00

Fonte: Roriz, 2008.

Para a maioria dos materiais, pode-se observar que quanto mais denso é o material maior será a condutividade de um material. Pode-se observar na Tabela 2.2, que os valores para a condutividade térmica e a massa específica aparente estão proporcionalmente relacionados. Com base nos estudos de Andrade e Roriz (2009), a condução faz parte do processo de transferência de calor nos componentes opacos da estrutura do edifício, levando a um aumento da temperatura superficial.

2.5.4 Resistência térmica

Segundo a NBR 15220-1 (ABNT, 2005b), resistência térmica é o “quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento ou componente construtivo pela densidade de fluxo de calor em regime estacionário”. Faz parte do processo de transmissão da temperatura, pois se trata de um fenômeno da termodinâmica que envolve a relação entre a espessura (e) e a condutividade (λ) do material. Para determinar o valor total para camadas heterogêneas, calcula-se o valor para cada camada separadamente. A resultante será o somatório das resistências encontradas para cada camada homogênea. É de extrema importância a análise desta variável, pela sua influência no desempenho térmico. A alta ou baixa resistência térmica interfere nas trocas de calor dos ambientes, de modo a diminuir as variações na temperatura.

2.5.5 Transmitância térmica

Pode ser entendida como a capacidade de transmissão de calor em um material de um meio de maior para um de menor temperatura. A transmitância térmica é inversamente proporcional a resistência térmica e é definida como o fluxo de calor por unidade de tempo e unidade de área (ABNT, 2005b).

Por este fator ter influência direta da resistência e indireta da condutividade térmica, ter um material com alta transmitância significa que este tanto perder uma grande quantidade de calor para o meio quanto ganhar calor. Na Tabela 2.3, tem-se os valores de transmitância térmica para alguns elementos opacos da construção civil.

Tabela 2.3 - Transmitância térmica de alguns tipos de paredes

PAREDE	ESPESSURA (cm)	TRANSMITÂNCIA (W/m ² .K)
Tijolo 6 furos	12,5	2,39
Tijolo 6 furos (deitado)	17,0	2,08
Tijolo 8 furos rebocado	12,5	2,49
Tijolo 4 furos rebocado	12,5	2,59
Tijolo maciço aparente	9,0	4,04
Tijolo maciço rebocado	12,0	3,57
Tijolo maciço rebocado	26,0	2,45

Fonte: ABNT, 2005c.

2.5.6 Capacidade térmica

Trata-se da quantidade de energia que um material pode armazenar na forma de calor. É importante considerar que no balanço térmico do ambiente, é dada pela NBR 15575 – Parte 1 (ABNT, 2013a). A energia que entra não se dissipa com a mesma velocidade em função das variações de temperatura, caracterizando um fluxo descontínuo (FARIA, 2011). Trata-se do produto da espessura (e) pelo calor específico (c) e pela massa específica aparente do material (ρ), com mostra a seguinte equação:

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

Na avaliação de projetos, a alta capacidade térmica pode estar associada ao ambiente com adequado uso de materiais que contribuem para o isolamento térmico, tornando o clima dos espaços ocupados mais estável, sendo então esta característica

favorecida pela radiação solar diária incidente na superfície externa do ambiente.

2.5.7 Fechamentos transparentes

Diferentes dos fechamentos opacos, os materiais utilizados para os fechamentos transparentes apresentam características peculiares, influenciando de maneira diferenciada no balanço térmico dos ambientes.

Observa-se na arquitetura residencial de países pertencentes a zonas climáticas temperadas, onde o clima possui suas estações do ano bem definidas, que as construções são projetadas com muitos componentes transparentes, para que a radiação solar entre com mais facilidade nos interiores, melhorando assim as condições de conforto nos períodos de inverno e verão.

Dentre as principais divergências em relação ao conforto térmico pode-se destacar a elevada transmitância térmica, acústica ineficaz e o custo elevado em relação aos fechamentos opacos.

Para locais onde as mudanças climáticas são mais instáveis, estas características podem acabar sendo inconvenientes para o conforto ambiental. Os fechamentos transparentes favoreceram as trocas de calor com maior facilidade e uma maior amplitude térmica.

Há um acréscimo no consumo anual de energia com o aumento da porcentagem de janela na fachada (PÉREN, 2006). Como consequência da troca de calor mais intensa, em locais com mais fechamentos transparentes, o uso do condicionamento de ar tem crescido, assim como o uso de sistemas de aquecimento de ar, gerando um aumento do consumo de energia.

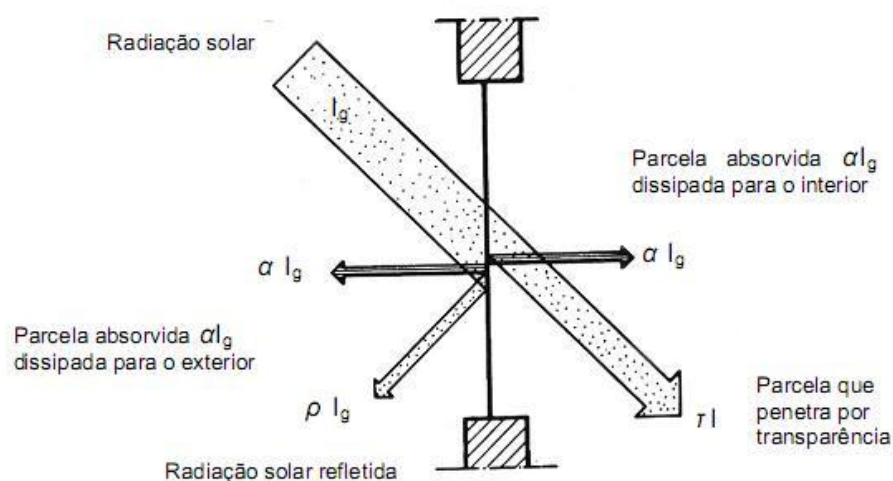
Segundo Fossati et al. (2011), a radiação solar incidente num material transparente pode ser absorvida, refletida ou transmitida para o interior, dependendo dos coeficientes de absorção, reflexão e transmitância do material. Com base nos estudos de Wills (2008), o fenômeno chamado efeito estufa, ocorre devido às propriedades espectrais das superfícies envidraçadas. A radiação solar entra com facilidade, mas encontra dificuldade para sair, isto se deve a radiação solar com o curto comprimento de onda penetrar na superfície do vidro, sendo então aprisionada e convertida em radiação térmica, que possui o comprimento de onda mais longa, sendo incapaz de retornar, acumulando-se no meio interno.

Para melhorar o balanço térmico envolvendo os fechamentos transparentes no

controle da entrada de radiação solar, faz-se uso de equipamento e sistemas de sombreamento que diminuem e inibem a incidência direta dos raios solares no interior dos locais com área de abertura envidraçada. O controle e proteção contra a radiação solar é importante para a avaliação das condições de conforto térmico nos edifícios.

O contra ponto do controle do sombreamento é o fator solar, variável que pode ser entendida como a razão entre a quantidade de energia que atravessa a janela pelo que nela incide (MARINOSKI, 2012). Tal variável possui um limitante que é o ângulo de radiação solar que atinge a janela. O fator solar é expresso em decimal, que na verdade é o percentual de radiação penetrante em uma determinada abertura e que fica no interior em forma de calor. A Figura 2.3 ilustra como atuam os fechamentos transparentes com a ação da radiação solar.

Figura 2.3 – A ação das trocas térmicas em fechamentos transparentes



Fonte: Frota e Schisser, 1995.

A poluição sonora acaba sendo prejudicada pela utilização dos fechamentos transparentes por permitir a passagem dos ruídos.

Além destas características, os fechamentos transparentes e os materiais usados para a confecção também podem servir como atrativo estético. O material usado para os fechamentos transparentes deve possibilitar a entrada da luz visível de modo que atenda condições necessárias para a realização das atividades, mantendo a funcionalidade do espaço.

2.5.8 Proteções solares

Uma solução bastante utilizada nas construções são as proteções solares, que reduzem a intensidade de radiação solar que vai para o interior do ambiente pelas aberturas e fechamentos transparentes. Estas proteções podem inibir a ação da radiação solar nos eixos vertical e horizontal, formando um ângulo de sombreamento, contabilizado no cálculo do índice de consumo de energia pela envoltória da edificação.

As proteções solares, por meio dos ângulos verticais e horizontais de sombreamento (AVS e AHS), proporcionam redução na incidência da radiação devido ao aumento do sombreamento e consequente redução da carga térmica ao aumentar o ângulo de sombreamento em relação à janela (CARLO, 2010).

Além de levar em consideração a proteção solar e o sombreamento na promoção de melhores condições de conforto térmico, também faz uso das cartas solares que possibilitam a previsão das trajetórias dos raios que atinge a área superficial da edificação.

Segundo Lamberts et al. (1997), existem maneiras variadas de inibir a ação direta dos raios solares, uma delas é ainda na etapa de projeto é orientar adequadamente a edificação, estudando o seu entorno para que possa estar por elementos já existentes e inserir dispositivos que protejam a construção dos raios solares.

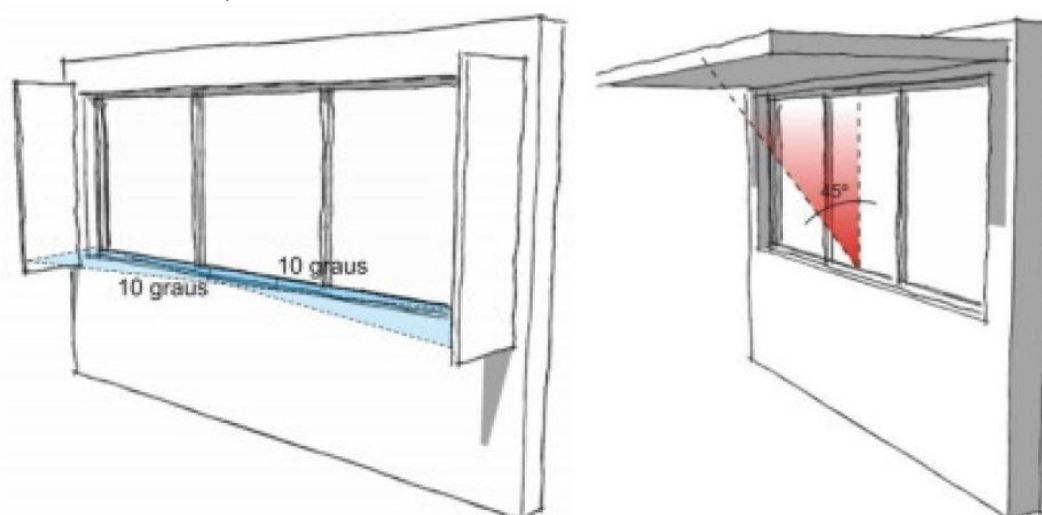
Para edificações baixas, a vegetação natural é uma excelente alternativa, pois em determinadas horas do dia pode servir de proteção solar, a vegetação pode contribuir não só para aumentar o sombreamento, mas também auxilia na redução da temperatura do ar a sua volta.

Para promover o sombreamento nas estruturas, existem diversas tipologias que podem ser utilizadas, principalmente para edificações verticais. Ainda segundo Lamberts et al. (1997), os objetos mais usados são: os beirais, cobogós; toldos, light shelf e os brises, que podem ser fixas ou móveis, colocados na vertical ou horizontal.

É importante que, na etapa de projeto seja feito um prévio dos benefícios e dos custos para aplicar o tipo de proteção adequado, pois cada situação exige uma aplicação diferente de acordo com as condições do projeto, avaliando pontos como: a luminosidade, ventilação, a privacidade, visibilidade, durabilidade, custos de implantação, manutenção e estética do protetor solar no projeto. No RTQ-C, a existência de proteção externa também é considerada na equação para determinação da eficiência da envoltória, na condição de ângulos de sombreamento: “ângulos que determinam a obstrução à radiação solar gerada

pela proteção solar nas aberturas” (INMETRO, 2010). São usados dois tipos: AVS – ângulo vertical de sombreamento, referente a proteções horizontais e o AHS – ângulo horizontal de sombreamento referente a proteções verticais (Figura 2.4).

Figura 2.4 – Proteção solar vertical com AHS de 10° à esquerda. Proteção solar horizontal com AVS de 45°, à direita.



Fonte: LABEEEE, 2014.

2.6 Sistema de iluminação

A iluminação do ambiente, se mal projetada pode acarretar ao um consumo de energia acima da demanda que o ambiente necessita para manter-se em condições favoráveis de habitação e funcionamento. O aproveitamento da iluminação natural das edificações bem localizadas diminui o desperdício de energia para que clarear a área total a ser iluminada.

Segundo Carlo (2010), existe dois modos de obter maior eficiência através do controle da luz natural. É importante que o projeto de iluminação artificial esteja integrado desde o princípio com o estudo do comportamento da luz natural. Concomitantemente ao eficaz aproveitamento da luminosidade natural, está a redução de carga do condicionamento do ar condicionado.

A partir de um bom projeto de iluminação natural, com a promoção da entrada da luz solar no ambiente, o ganho do calor pela radiação solar reduz o ganho de calor adquirido pela iluminação artificial.

Num projeto de iluminação eficiente, devem ser consideradas todas as variáveis arquitetônicas envolvidas, para o aproveitamento total da luz natural, de maneira que a iluminação artificial seja complementar e possível desnecessária.

É fundamental que no projeto, alguns aspectos básicos sejam levados em consideração, tais como:

- Orientação solar;
- A disposição do entorno;
- Fechamentos transparentes;
- Proteções solares

A luz natural deve ser explorada através do dimensionamento correto de aberturas e, assim, reduzir o uso de iluminação artificial durante o dia (TAVARES, 2006). Dependendo do arranjo físico, da quantidade de luz natural e da atividade realizada no ambiente, faz-se necessário o uso de luz artificial.

Os efeitos de conforto luminoso e da saturação visual da luz natural decorrentes dos raios solares favorecem a iluminação artificial, pois permite o controle da luminosidade adequada que atenda a demanda do local.

Os componentes que compreendem a iluminação artificial consistem nas lâmpadas, luminárias e os reatores, com a capacidade de manter estável o nível de iluminância necessário para realização das tarefas designadas para o ambiente construído. O ambiente durante do dia pode operar utilizando os dois tipos de iluminação, e no período noturno, a fonte de luz artificial passa a ser a principal forma de iluminar o ambiente.

A luz natural, por ser originada da radiação do sol, produz luz e calor, variando em intensidade, devido a trajetória aparente do sol durante do ano, este tipo de luz está sujeito a ação das nuvens mais densas, diminuindo a incidência dos raios solares sobre a edificação.

Apesar da influência destes fatores, ainda é preferível a luz natural, pois atende as necessidades psicológicas dos usuários, pois variabilidade de luz estimula a visão, trazendo a sensação de visão favorecida pela luminosidade natural (HARA; PEREIRA, 2007). O bem estar associado à utilização também está relacionado ao contato visual com a natureza externa do ambiente construído.

No que se refere a iluminação artificial, um dos aspectos mais importantes para o dimensionamento do sistema de iluminação artificial são as densidades de potência. Esta é uma grandeza que serve para avaliar a quantidade de potência em Watts distribuída em um metro quadrado de área.

Fazendo o uso correto da luz natural, um ambiente que possui uma determinada densidade de potência, passa a necessitar de menos energia para manter a luminosidade desejada, e através da complementação da luz natural, reduz o consumo de energia. O

suporte luminoso não se limita apenas a questões voltadas para o projeto luminotécnico, mas também ao conforto ambiental e aos gastos com condicionamento de ar.

Com base na agenda elétrica sustentável 2020 (WWF, 2007), os avanços tecnológicos têm possibilitado a redução de energia consumida pelas lâmpadas sem prejudicar a capacidade de luminescência dos equipamentos.

As últimas décadas passaram por uma revolução no setor, com relação à substituição das lâmpadas incandescentes pelas fluorescentes, que vem favorecendo a economia de energia elétrica. Uma das grandes inovações tecnológicas no setor da energia elétrica são as lâmpadas conhecidas por LED (Diodo de Emissão de Luz).

Segundo Pinto et al. (2013), as vantagens das lâmpadas de LED são a elevada vida útil, que pode atingir até 50.000 horas e sua alta eficiência luminosa, comparando com as lâmpadas fluorescentes de 80 lm/W, com as lâmpadas LED que atingem 100 lm/W.

Entretanto, apesar das melhorias da eficiência energética, a redução dos gastos ainda está predominantemente ligada ao controle do usuário no ligar e desligar da luz artificial.

2.6.1 Sistema de iluminação eficiente

A luz natural quando controlada, propicia um uso o uso mais eficiente de energia para iluminação do ambiente e, segundo Pinto et al. (2013), a eficiência neste sistema pode ser obtida a partir de dois modos. O primeiro, através da economia direta, onde o uso da luz natural resulta na redução do uso de luz artificial, sendo assim, é importante que o projeto luminotécnico seja integrado desde o início com o estudo do comportamento da luz natural. Com relação ao segundo modo, a economia indireta ocorre através da redução da carga do ar condicionado. Dependendo da qualidade do projeto, com o aproveitamento da entrada de luz natural, difusa e controlada, os ganhos de calor são menores, tanto por radiação solar quanto por luz artificial. Conforme a disponibilidade de luz natural no interior dos ambientes é que se faz uso da luz artificial para auxiliar na iluminação, embora alguns aspectos negativos também estejam associados, tais como o desconforto térmico e visual devido à incidência de direta dos raios solares. Ao sentir-se incomodado o usuário do ambiente bloqueia a entrada de luz natural e substitui por luz artificial se necessário.

A iluminação originada de um conjunto de dispositivos que compõem as lâmpadas, luminárias e os reatores possuem a capacidade de possibilitar um fluxo luminoso

relativamente estável e homogêneo ao longo de sua vida útil, favorecendo o ambiente com o nível de luminosidade praticamente invariável para o usuário, todavia estes componentes devem ser adequadamente dimensionados projetados e posicionados. Durante o dia, as luzes das lâmpadas apenas complementam a contribuição da luz natural do ambiente. Já durante a noite, torna-se o tipo de luz principal para realização das atividades. Por outro lado, a luz natural é acompanhada de fatores que fazem com que a intensidade luminosa tenha significativa variabilidade.

A presença de nuvens é o principal fator, por alterar a trajetória dos raios solares. Apesar disto, é preferível a luz natural perante a luz artificial por influenciar psicologicamente, através dos estímulos visuais influentes no corpo humano, junto com a capacidade de oferecer boa visão. A iluminação natural proporciona a representação das cores com total fidelidade ao que é captado no espectro de luz visível. Por ser obtida pela presença de janelas, aumenta o contato visual com o ambiente externo. Um projeto de iluminação eficiente deve considerar todas as variáveis arquitetônicas necessárias para o melhor conforto visual, aproveitando ao máximo o potencial da contribuição da luz natural, confirmando o papel da luz artificial como complementar para iluminação.

A orientação solar, o estudo do entorno, o dimensionamento das aberturas e os elementos de proteção solar da radiação solar são aspectos básicos fundamentais que auxiliam na luminosidade do ambiente interno. A luz natural deve ser explorada através do dimensionamento correto de aberturas e, assim, reduzir o uso de iluminação artificial durante o dia (HARA; PEREIRA, 2007). Um importante conceito a ser destacado é a densidade de potência. Trata-se de uma grandeza que relaciona a potência total instalada em watt em um sistema de iluminação para cada metro quadrado de área. Com esta grandeza é possível verificar a eficiência de um sistema luminotécnico, este se apresenta mais eficiente que outro, quando ao proporcionar o mesmo nível de Iluminância do outro, porém consumindo menos watts por metro quadrado.

Para diminuir o consumo de energia com pouca produção de calor, devem ser utilizadas lâmpadas e luminárias eficientes, reduzindo os gastos, e influenciando até mesmo no condicionamento do ambiente, já que o calor no interior da edificação também será amenizado.

A agenda elétrica sustentável 2020 (WWF, 2007) ressalta que as tecnologias de iluminação têm avançado significativamente nas últimas décadas. Um dos fatos que mais influenciaram na redução de eletricidade consumida nos últimos anos foi a substituição das

lâmpadas incandescentes pelas lâmpadas fluorescentes compactas, os aperfeiçoamentos destes componentes eletrônicos levaram ao melhor aproveitamento do potencial de iluminância das tecnologias.

Dentro do conceito da eficiência energética, atualmente a tecnologia da iluminação tem avançado com o surgimento das lâmpadas LED (Diodo de Emissão de Luz).

De acordo com Pinto et al. (2013), duas importantes vantagens do LED são a sua vida útil elevada, a qual pode atingir até 50.000 horas e a sua alta eficiência luminosa, comparando uma lâmpada fluorescente de 80 lm/W com uma lâmpada de LED que atinge 100 lm/W. Conforme ressalta Péren (2006), a luz natural não implica diretamente na economia de energia, mas sim a abstenção do usuário de ligar a luz artificial.

2.7 Sistema de condicionamento de ar

As condições de estresse térmico com temperatura elevada serviram como justificativa para a admissão do ar condicionado nos ambientes construídos na sociedade contemporânea.

O ar condicionado em locais com alta temperatura tem sido a medida mais adequada a ser tomada para garantir o conforto térmico dos usuários, quando não é possível fazer uso da ventilação natural. Para o caso de uso de equipamentos para que oferecem o condicionamento de ar. Hara e Pereira (2007) destacam que se deve garantir o fechamento das aberturas dos ambientes, evitando a entrada de ar do meio externo, melhorando o desempenho do aparelho de ar condicionado.

Ao projetar o edifício que receberá um sistema de condicionamento de ar, deve-se estar atento a qualidade dos equipamentos e requisitar os procedimentos adequados para instalação do sistema.

A maioria dos edifícios de serviços e públicos possui condicionamento de ar uma vez que a priorização das necessidades esta voltada para o conforto dos ambientes.

A eficiência de cada aparelho utilizado é fundamental para que se possa determinar a eficiência do sistema de condicionamento de ar, para isto, as formas de avaliar a eficiência do sistema se dividem em duas, a primeira pelo INMETRO e a segunda através das tabelas ASHRAE que são apresentadas no regulamento. Como resposta a avaliação são as eficiências dos equipamentos multiplicados pelas frações de área que cada aparelho atende nos ambientes condicionados. Para que o sistema de condicionamento de ar seja nível A de

eficiência energética é preciso que este atenda aos seguintes pré-requisitos:

- Proteção das unidades condensadoras;
- Especificidades quanto ao condicionamento de ar;
- Especificidades quanto ao condicionamento de ar por aquecimento artificial.

As unidades de condicionamento dos sistemas devem estar sempre sombreadas e com ventilação adequada para não afetar a eficiência da climatização. As conduções de ar devem ser isoladas termicamente com espessura mínima, possibilitando o aquecimento e a refrigeração, como proposto para o equipamento conforme o regulamento. Para o condicionamento de ar, com perspectiva de aquecimento artificial, deve-se atender os níveis mínimos indicados para eficiência energética conforme os sistemas de aquecimento (bombas de calor, sistemas unitários de condicionamento de ar com ciclo reverso e caldeiras a gás).

2.7.1 Etiquetação do condicionamento de ar

Por vezes, para que o conforto térmico do usuário seja alcançado é necessário fazer uso de métodos artificiais, como o ar condicionado, ventilador, aquecedor, entre outros. A utilização de sistema de ar condicionado é um hábil instrumento de controle da temperatura, umidade, pureza e distribuição do ar. Através dessa tecnologia é possível atingir o conforto interno, independentemente da situação do meio externo. Em alguns locais a existência do ar condicionado é imprescindível, como em centrais de tratamento intensivo de hospitais, em data centers, e outros.

O RTQ-C analisa os sistemas de condicionamento de ar de formas diferentes, considerando se os condicionadores são avaliados ou não pelo PBE/INMETRO. Os sistemas compostos por condicionadores de ar de janela e split, avaliados pelo PBE/INMETRO, são classificados através do nível de eficiência atribuído pelo INMETRO a cada modelo. Os sistemas compostos por condicionadores que não estão abrangidos por nenhuma norma de eficiência do INMETRO, são avaliados através do seu desempenho em relação a níveis fornecidos pelo RTQ-C.

A classificação do sistema de condicionamento de ar permite classificações parciais. Isto é, pode-se certificar somente uma sala, um conjunto de salas, um piso ou parte de um edifício. Neste aspecto, a classificação do sistema de condicionamento de ar funciona da mesma forma que a classificação da eficiência da iluminação.

2.8 Ventilação natural

A ventilação pode ser classificada em dois grupos: a ventilação natural e a ventilação artificial ou mecânica. Segundo Tavares (2006) a ventilação natural é um dos pontos mais importante a se avaliar para obtenção dos níveis de qualidade de eficiência energética em edifícios que não possuem ventilação artificial. Enquanto a ventilação artificial ou mecânica é produzida por equipamentos que requerem energia elétrica ou algum tipo de combustível, a ventilação natural baseia-se na diferença das pressões causadas pela dinâmica do vento e das massas de ar presente nos ambientes, ou pela a diferença das temperaturas interna e externa.

A ventilação é o movimento das massas de ar, sua principal função é fornecer o volume de ar necessário para a respiração ao diluir a concentração de poluentes e restabelecer os níveis de oxigênio (FOSSATI, 2010). A própria arquitetura do ambiente construído, contribui para a redução de gastos com energia elétrica quando se previamente atenta-se para o sistema de ventilação, usando as forças naturais do vento e as diferenças de pressão no favorecimento do movimento convectivo.

Os benefícios para a ventilação natural são:

- Melhoria da qualidade e da distribuição do ar no interior do ambiente
- Aumento do conforto térmico
- Maior troca termo energética da estrutura com o meio externo
- Redução dos gastos com aclimatação artificial.

Nos ambientes construídos em zonas de clima temperadas e em áreas de maior altitude ou locais considerados como zonas continentais, a um risco maior de desconforto térmico pela maior variação da temperatura, devido à influência da movimentação e da velocidade das massas de ar.

A área e a forma dos elementos de ventilação influem diretamente no conforto térmico do ambiente, de maneiras diferentes para o inverno e o verão, na mudança do fluxo das massas de ar, de modo que na estação com menor temperatura, o fluxo seja desviado para a parte superior do ambiente, evitando a ação direta da velocidade do ar, melhorando a sensação térmica, assim como nos períodos de temperatura elevada, o direcionamento do fluxo direto, contribui para suavizar a sensação de altas temperaturas.

É fundamental que em um projeto arquitetônico seja contemplado o sistema de ventilação, independentemente de ser natural ou artificial, adequando a direção e a

velocidade do ar para obter o conforto térmico almejado pelos usuários da edificação.

Como pré-requisito da elaboração da etiqueta completa do nível de qualidade e eficiência energética de edifícios, é exigido pela portaria nº 372 (BRASIL, 2010) que seja calculado o equivalente numérico da ventilação pelo método de simulação atendendo ao padrão ASHRAE 55 para as condições de conforto ambiental e aceitação com percentual de horas de conforto de 80% para o nível A, sendo o valor para este nível igual a 5.

A simulação dos ambientes vem sendo bastante utilizada para a análise dos fluxos de ar no interior das edificações devido à alta complexidade dos cálculos para os fenômenos da ventilação natural.

2.8.1 Simulação da Ventilação natural

O método prescritivo apresenta limitações em relação à obtenção do equivalente numérico de ventilação. A simulação é o método indicado pelo RTQ-C para obtenção deste valor, devido principalmente à possibilidade de avaliação global e dos recursos da modelagem. Segundo Carlo (2010) o método da simulação é indicado quando o método prescritivo não descreve apropriadamente as características do edifício que participam da eficiência energética, como por exemplo: uso da ventilação natural, proteções solares para algum caso específico, grandes áreas envidraçadas com vidros de elevado desempenho térmico e luminoso, sistemas de condicionamento não previstos, como pisos radiantes, e especificidades, como opções de automação de condicionamento de ar e resfriamento evaporativo.

O RTQ-C (BRASIL, 2010) estabelece que a ventilação natural deve ser obtida através do método de simulação e determina pré-requisitos a serem atendidos para o programa computacional de simulação termo energética e para o arquivo climático de simulação.

Segundo o RTQ-C, o programa computacional de simulação termo energética deve possuir, no mínimo, as seguintes características (BRASIL, 2010):

- Ser um programa para 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 modelagem de multizonas térmicas;
- Para o item “Pontuação total de edifícios totalmente simulados”, deve-se ter capacidade de simular as estratégias bioclimáticas adotadas no projeto;
- Caso o edifício possua sistema de condicionamento de ar, o programa deve permitir modelar todos os sistemas de condicionamento de ar listados no Apêndice G da ASHRAE 90.1;
- Determinar a capacidade solicitada pelo Sistema de Condicionamento de ar;
- Produzir relatórios horários do uso final de energia;

Já o arquivo climático usado na avaliação deve possuir as seguintes características (BRASIL, 2010):

- Fornecer valores horários para todos os parâmetros relevantes requeridos pelo programa de simulação, tais como temperatura e umidade, direção e velocidade do vento e radiação solar.
- Os dados climáticos devem ser representativos da Zona Bioclimática onde o projeto proposto será locado e, caso o local do projeto não possuir 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.

Segundo Tavares (2012) quando se trata de edifícios naturalmente ventilados ou que possuam áreas não condicionadas de permanência prolongada, é obrigatório comprovar por simulação que o ambiente interno destas áreas proporciona temperaturas dentro da zona de conforto durante um percentual de horas ocupadas.

Após a inserção de todos os dados foi utilizado o arquivo climático da cidade de Recife-PE, disponibilizado no software, referente à cidade mais próxima da edificação em estudo.

Com a inserção do arquivo *.csv (separado por vírgulas), os dados foram processados do arquivo climático, além de um arquivo em extensão *.epw que foi utilizado na simulação.

2.8.2 Programa Design Builder

O *Design Builder* é um programa desenvolvido no Reino Unido pela *Design Builder Software Ltda.* para simulações de desempenho termo energético de edificações e utiliza para isso os algoritmos do *Energy-Plus*, “corrigindo suas limitações gráficas no processo de modelagem” (VENÂNCIO; PEDRINI, 2009).

Segundo Venâncio; Pedrini (2009) o uso da ferramenta permite facilitar as decisões de projeto, bem como pode oferecer suporte para alternativas relacionadas aos projetos, permitindo simular a ventilação natural e calcular do consumo de energia.

Os principais usos da ferramenta são:

- Cálculo do consumo de energia;
- Cálculo do desempenho térmico;
- Cálculo de ventilação;
- Predição de temperatura do ar e temperatura radiante média.

Neste trabalho foi utilizado o programa *Design Builder* devido à praticidade de manipulação dos dados e principalmente pelo seu algoritmo baseado no *Energy-Plus*, auxiliado pela interface gráfica.

O *Design Builder* é um dos programas indicados pela Eletrobrás, pois é um software para modelagem de edifícios e simulações de desempenho ambiental, desde as fases de projeto e de execução.

Ele é integrado a ferramenta *Energy-Plus*, desenvolvida pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, e permite analisar sistemas de aquecimento e resfriamento, iluminação, e ventilação, de forma a quantificar o seu consumo de energia. Com interface simples, ele fornece informações detalhadas, imagens e animações do projeto, além do acesso aos resultados com facilidade (ELETROBRÁS-PROCEL, 2010).

Nesta pesquisa foi utilizada a versão *Design Builder v4.2.0.054*, que por sua vez, utiliza a versão *Energy-Plus 6.0*.

O EqNumV é uma variável correspondente a pontuação da ventilação que é comprovada através do método de simulação nas áreas de permanência prolongada, não

condicionadas, que possui influência da temperatura avaliada pela zona de conforto durante um percentual de horas ocupadas. Quando um edifício apresenta uma considerável área de permanência prolongada esta comprovação passa a ser obrigatória. O objetivo da aplicação do método de simulação é encontrar os percentuais de horas em conforto(POC) dos usuários da edificação, para que diante dos valores encontrados no modelo simulado possa ser feita a classificação do nível de eficiência. A etapa de simulação contribui com uma variável significativa na equação utilizada para a pontuação total que é necessária na etiquetagem do edifício. Os valores para este equivalente numérico, a ser usado na Equação 1, são apresentados na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Equivalente numérico para ventilação natural

PERCENTUAL DE HORAS OCUPADAS EM CONFORTO (POC)	EQUIVALENTE NUMÉRICO	NÍVEL
$POC \geq 80\%$	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, 2010.

2.9 Bonificações

As bonificações constituem-se no uso de tecnologias e iniciativas que contribuem positivamente para a melhor eficiência energética dos edifícios, possibilitando o aumento de um ponto na classificação geral da edificação.

Tais iniciativas precisam ser comprovadas, identificando aspectos relevantes, como sistemas e equipamentos que auxiliam no controle do uso da água ou de fontes renováveis de energia. A aplicação dos valores nas variáveis da equação para a zona bioclimática resultará em um número que define a classificação geral do ambiente estudado conforme a Tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Classificação geral

PONTUAÇÃO TOTAL	NÍVEL
$\geq 4,5$ a 5	A
$\geq 3,5$ a $< 4,5$	B
$\geq 2,5$ a $< 3,5$	C
$\geq 1,5$ a $< 2,5$	D
$< 1,5$	E

Fonte: Brasil, 2010.

2.10 Requisitos técnicos do nível de qualidade e eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos - RTQ-C

Através dos Requisitos Técnicos da Qualidade de Nível de Eficiência Energética em Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos (BRASIL, 2010) são obtidas as classes para os projetos, por meio de metodologias de classificação quanto à eficiência energética.

A primeira versão regulamentada de caráter voluntário foi implantada em fevereiro de 2009 pela Portaria INMETRO n.º 53, de 27 de fevereiro de 2009, posteriormente sucedida pela Portaria INMETRO n.º 163 (BRASIL, 2009) e atualmente a última versão revisada é apresentada na Portaria INMETRO n.º 372 (BRASIL, 2010).

O prazo que foi dado para a obrigatoriedade foi de cinco anos a partir da data de implementação. O edifício tendo área total útil igual ou superior a 500 m² e/ou tensão de abastecimento mínimo de 2,3 KV, independentemente de ser condicionado ou não condicionado (BRASIL, 2010).

Os principais requisitos a serem atendidos para a classificação do nível de eficiência energética de edificação são três: desempenho da envoltória, do sistema de iluminação e do sistema de condicionamento de ar. Para cada requisito, a etiqueta pode ser fornecida separadamente, para toda ou a parte da edificação. Cada etiqueta apresenta pré-requisitos específicos para obtenção da classificação parcial e geral. A classificação geral da edificação só pode ser obtida após a classificação dos sistemas individuais. Para cada sistema, são atribuídos pesos, distribuídos da seguinte forma:

- 30% - Envoltória;
- 30% - Sistema de Iluminação;
- 40% - Condicionamento de ar.

Os sistemas individuais avaliados utilizam equivalentes numéricos, correspondente a cada eficiência, conforme apresentado na Tabela 2.6.

Tabela 2.6 - Equivalente numérico para cada nível de eficiência energética

NÍVEL	EQUIVALENTE NUMÉRICO
A	5
B	4
C	3
D	2
E	1

Fonte: Brasil, 2010.

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

$$PT = 0,30. \left\{ \left(EqNumEnv. \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right\} + 0,30. (EqNumDPI) + 0,40. \{ (EqNumCA. AC/AU) + (APT/AU. 5 + ANC/AU. EqNumV) \} + b_0^1 \quad (\text{Eq. 2.1})$$

Onde:

EqNumEnv: equivalente numérico da envoltória;

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

EqNumCA: equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar;

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

APT: áreas úteis de piso dos ambientes de permanência transitória não condicionados, medidas a partir dos ambientes de circulação, depósitos e sanitários;

ANC: áreas úteis de piso dos ambientes não condicionados de permanência prolongada, descontadas as APT;

AC: áreas de piso dos ambientes condicionados;

AU: área útil total da edificação;

b: bonificações, avaliadas pelas iniciativas adotadas quanto ao uso de soluções mais eficientes (varia de zero a 1).

2.10.1 Etiqueta nacional de conservação de energia (ENCE)

A classificação nível A significa que o ambiente é de alta eficiência e a classificação E significa que a eficiência é mínima, conforme a ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (Figura 2.5).

Figura 2.5 – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia.



Fonte: LABEEE, 2014.

O Programa PROCEL Edifica é um programa relativamente novo, instituído em 2003 pela Eletrobrás/Procel, tem o objetivo de promover o uso racional de energia elétrica em edificações e de incentivar a conservação e o uso eficiente dos recursos naturais (água, luz, energia, etc.) nas edificações, reduzindo assim os desperdícios e os impactos sobre o meio ambiente. Esse programa deu início a etiquetagem de eficiência energética nas edificações a partir da publicação pelo Inmetro do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e seus documentos complementares, como o Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RAC-C) e o Manual para aplicação dos RTQ-C.

3.0 METODOLOGIA

A Central de Integração Acadêmica (CIA) localiza-se na cidade de Campina Grande (7°12' 29,9" Sul, 35° 55' 1,4" Oeste, 550 metros acima do nível médio do mar), sede do município homônimo, no estado da Paraíba, Brasil. O município, inserido na Zona Bioclimática Brasileira 8, situa-se no interior do estado, no Agreste Paraibano, na parte oriental do Planalto da Borborema e está incluído na área geográfica de abrangência do semiárido brasileiro.

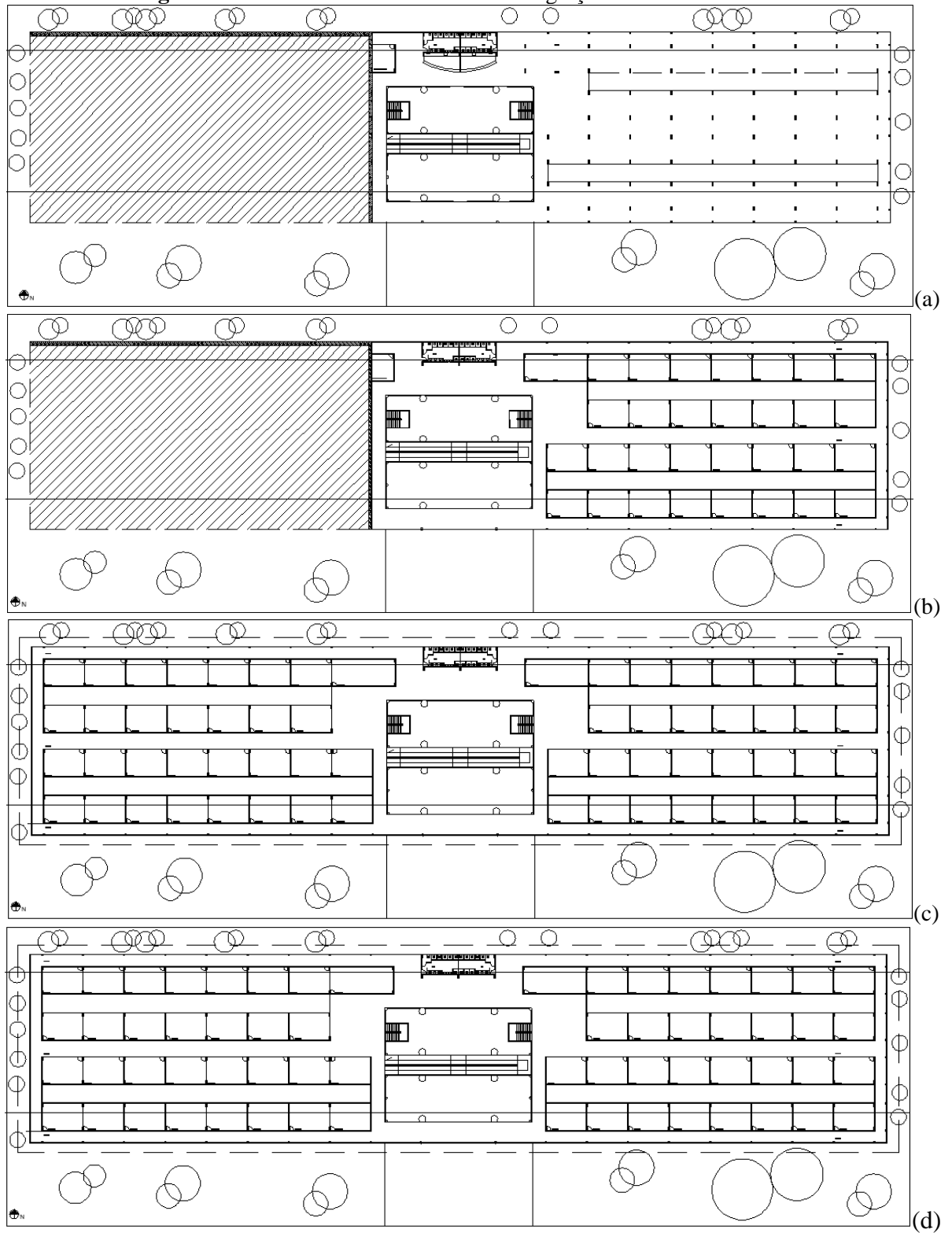
A cidade apresenta temperaturas moderadas, com clima tropical na estação seca e subtropical na estação chuvosa. A temperatura máxima varia entre 28 e 35°C, na estação seca e entre 22 e 27°C na estação chuvosa, sendo as correspondentes faixas para a temperatura mínima 18 - 22°C e 15 - 20°C.

O projeto arquitetônico foi desenvolvido em módulos, aspecto característico da arquitetura modernista, que busca construções mais limpas, úteis e sem excessos (BRUM, 2011), ocupando um terreno de 13.333 m², no Campus I da Universidade Estadual da Paraíba.

No projeto arquitetônico a edificação é composta por um Pilotis, um 1º Pavimento e dois Pavimentos tipo. No Pilotis (Figura 3.1a) estão localizados o hall de acesso, sanitários, escadas, rampa, almoxarifado, cantinas e área de convivência. No 1º Pavimento (Figura 3.1b) estão o hall de acesso, sanitários, escadas, rampa, almoxarifado, 30 (trinta) salas de aula e 1 (um) auditório. Cada Pavimento tipo (Figuras 3.1c e 3.1d) possui hall de acesso, sanitários, escadas, rampa, 60 (sessenta) salas de aula e 2 (dois) auditórios.

No entanto, durante a construção da edificação (Figura 3.2) o projeto arquitetônico foi alterado. No hall de acesso do Pilotis foi instalado um elevador, sem alterar a área e as divisões internas do referido pavimento. O 1º Pavimento foi ampliado, ficando semelhante ao 2º pavimento, ou seja, com hall de acesso, sanitários, escadas, rampa, 60 (sessenta) salas de aula e 2 (dois) auditórios. No 3º pavimento foram instaladas coordenações, departamentos, salas de professores, salas de aula, pequenas lojas, laboratórios, auditórios e bibliotecas setoriais.

Figura 3.1 – Planta baixa da Central de Integração Acadêmica da UEPB



Fonte: Vasconcelos, 2010.

Figura 3.2 – Central de Integração Acadêmica, Campus I da Universidade estadual da Paraíba, (a) Fachada Sul e (b) Fachada Leste.



Fonte Autor, 2014

Na edificação, as paredes de vedação foram executadas com tijolos cerâmicos de 8 furos quadrados, com dimensões de 9,0 cm x 19,0 cm x 19,0 cm, assentados na menor dimensão (1/2 vez) com argamassa de 1,0cm, totalizando 14,0 cm de espessura da parede, sendo aplicadas, posteriormente, massa acrílica e tinta lavável branca.

A cobertura da edificação foi proposta e executada com telhas de fibrocimento, lâmina de alumínio polido e forro de laje pré-moldada, sendo a espessura da telha de 0,7 cm e da laje de 12,0 cm.

As janelas, tanto na fase de projeto quanto na fase de execução, foram do tipo correr confeccionadas em alumínio com vidro de 4 mm, proporcionando abertura de 50%, para ventilação. As portas de acesso foram executadas em madeira prensada.

As áreas necessárias para avaliação da iluminação e condicionamento de ar foram obtidas através de levantamento do projeto arquitetônico, para a fase de projeto, e, *in loco*, para a fase de execução.

3.1 Envoltória

Para classificação final do nível de eficiência da envoltória foi verificado o atendimento aos pré-requisitos específicos transmitância térmica, cor e absorvância das superfícies e iluminação zenital. O Quadro 3.1 apresenta a síntese dos pré-requisitos da envoltória exigidos para cada nível de eficiência; tais pré-requisitos são condicionantes para

a classificação geral do edifício, independentemente do valor do insumo de consumo.

Quadro 3.1 - Síntese dos pré-requisitos da envoltória

Nível de eficiência	Transmitância térmica da cobertura e das paredes externas	Cor e absorvância	Iluminação zenital
A	X	X	X
B	X	X	X
C e D	X		

Fonte: Brasil, 2010.

3.1.1 Determinação da transmitância térmica

O primeiro pré-requisito para análise da envoltória foi a transmitância térmica. A avaliação deste pré-requisito varia conforme a localização da estrutura em relação ao zoneamento bioclimático, com diferentes limites de propriedades térmicas para as coberturas e paredes externas, para cada nível de eficiência (BRASIL, 2010).

As transmitâncias térmicas das paredes externas e da cobertura, tanto para a fase de projeto arquitetônico quanto para a fase de projeto executado, foram calculadas com base nos materiais e espessuras de cada camada que compõem a edificação e conforme o Anexo D da NBR 15220 – Parte 2 (ABNT, 2005c).

Para verificação de atendimento ao pré-requisito foi considerada a pior situação entre os períodos de inverno e verão para transmitância térmica da cobertura (U_{cob}), ou seja, o resultado obtido com maior transmitância térmica.

O Quadro 3.2 apresenta os limites de transmitância térmica, absorvância e iluminação zenital para as paredes e a cobertura na Zona Bioclimática 8. Pode ser verificado que o limite de transmitância térmica das paredes externas varia de acordo com a capacidade térmica do material, pois a inércia térmica participa significativamente do desempenho térmico de edificações.

Quadro 3.2 - Limites de transmitância térmica, absorvância e iluminação zenital para as paredes e a cobertura na Zona Bioclimática 8

NÍVEL	TRANSMITÂNCIA		ABSORVÂNCIA		ILUMINAÇÃO ZENITAL
	COBERTURA	PAREDES	COBERTURA	PAREDES	
A	2,00 W/m ² .K	3,7 W/m ² K para paredes com capacidade térmica superior a 80 kj/m ² .K	<0,5	<0,5	X
B	2,00 W/m ² .K	3,7 W/m ² K para paredes com capacidade térmica superior a 80 kj/m ² .K	<0,5	<0,5	Não Possui
C e D	< 2,00 W/m ² .K	3,7 W/m ² K para paredes com capacidade térmica superior a 80 kj/m ² .K	Não Exige	Não Exige	Não Possui

Fonte: Brasil, 2010

3.1.2 Determinação da absorvância

A absorvância solar é o quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície. A cor é utilizada como indicação da absorvância quando não há possibilidade de medição; cores mais claras têm absorvâncias mais baixas. É possível obter a especificação da absorvância solar do fabricante ou fazer a medição *in loco* (BRUM, 2011).

A absorvância solar, tanto da fachada como da cobertura, é resultante da absorvância média ponderada pela área. Segundo o RTQ-C, para as Zonas Bioclimáticas de 2 a 8, a absorvância máxima é de 0,5 para os materiais de revestimento externo das paredes e para coberturas não aparentes.

Para determinação da absorvância solar do projeto arquitetônico e do projeto executado foram verificadas as cores especificadas no memorial descritivo e *in loco*, respectivamente, e, posteriormente, houve a definição através da NBR 15220 – Parte 2 (ABNT, 2005c).

3.1.3 Determinação do nível de eficiência energética da envoltória

Primeiramente foi feito o cálculo do índice de consumo da envoltória (ICenv), a partir dos dados coletados no projeto arquitetônico e na edificação. Posteriormente, as variáveis necessárias para obtenção do índice foram aplicadas na equação fornecida pelo

RTQ-C, de acordo com a Zona Bioclimática 8. O Quadro 3.3 apresenta as zonas bioclimáticas agrupadas e não agrupadas.

Quadro 3.3 - Agrupamento das zonas bioclimáticas brasileiras

Zona bioclimática não-agrupada	Zona bioclimática agrupada
ZB1	
	ZB2 e ZB3
	ZB4 e ZB5
ZB7	
	ZB6 e ZB8

Fonte: Brasil, 2010.

Para cada zona bioclimática existem duas equações diferentes de acordo com a área de projeção do edifício (Ape), uma para áreas de projeção menores que 500m² e outra para áreas maiores. Para cada uma dessas equações há limites máximos e mínimos para o Fator de Forma (Aenv/Vtot), sendo Aenv a área da envoltória e Vtot o volume total. As equações para Ape > 500 m² são válidas para o Fator de Forma mínimo permitido e as equações para Ape < 500 m² são válidas para o Fator de Forma máximo permitido. Acima ou abaixo destes valores, devem ser adotados os valores limites nas equações. A Tabela 3.1 apresenta os valores limites do fator de forma para cada zona bioclimática.

Tabela 3.1 - Fator de forma máximo e mínimo por zona bioclimática

ZONA BIOCLIMÁTICA	FATOR DE FORMA MÁXIMO Ape < 500 m ²	FATOR DE FORMA MÍNIMO Ape > 500 m ²
1	0,60	0,17
2 e 3	0,70	0,15
4 e 5	0,75	Livre
6 e 8	0,48	0,17
7	0,60	0,17

Fonte: Brasil, 2010.

De posse de todas as variáveis foi calculado o índice de consumo (ICenv) para três situações de envoltória: ICenv, ICmáxD e ICmín. Os cálculos para o ICmáxD e ICmín foram obtidos com base nos valores preestabelecidos no RTQ-C. Os dados de percentuais de áreas de abertura na fachada total (PAFt), fator solar (FS), ângulo vertical de sombreamento (AVS) e ângulo horizontal de sombreamento (AHS) utilizados foram os apresentados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Parâmetros do índice de consumo máximo

PAFT	FS	AVS	AHS
CONSUMO MÁXIMO			
0,60	0,61	0	0
CONSUMO MÍNIMO			
0,05	0,87	0	0

Fonte: Brasil, 2010.

O Quadro 3.4 compara os dados de entrada de ICenv, ICmáxD e ICmín e sintetiza as semelhanças e diferenças entre eles.

Quadro 3.4 - Comparação de parâmetros nas equações IC

ICenv	ICmáxD	ICmín
Ape	Ape	Ape
Apcob	Apcob	Apcob
Atot	Atot	Atot
Aenv	Aenv	Aenv
Vtot	Vtot	Vtot
FA	FA	FA
FF	FF	FF
PAFT	Adotar 0,60	Adotar 0,05
FS	Adotar 0,61	Adotar 0,87
AVS	Adotar 0	Adotar 0
AHS	Adotar 0	Adotar 0

Nota: Ape = Área de projeção do edifício; Apcob = Área de projeção da cobertura; Atot = Área total construída; Aenv = Área da envoltória; Vtot = Volume total da edificação; FA = Fator de altura; FF = Fator de forma; PAFT = Percentual área de abertura na fachada total; FS = Fator solar; AVS = Ângulo vertical de sombreamento; AHS = Ângulo horizontal de sombreamento;

Fonte: Brasil, 2010.

Uma vez obtidos os ICenv, ICmáxD e ICmínos limites dos níveis de eficiência foram estimados. Os limites mínimo e máximo dos níveis de eficiência foram determinados conforme a Tabela 3.3, utilizando o intervalo (i) que obtido através da Equação 3.1 que utiliza os índices de consumo ICmáxD e ICmín, dividindo a classificação em quatro partes iguais.

$$i = (ICmáxD - ICmín)/4 \quad \text{Eq. 3.1}$$

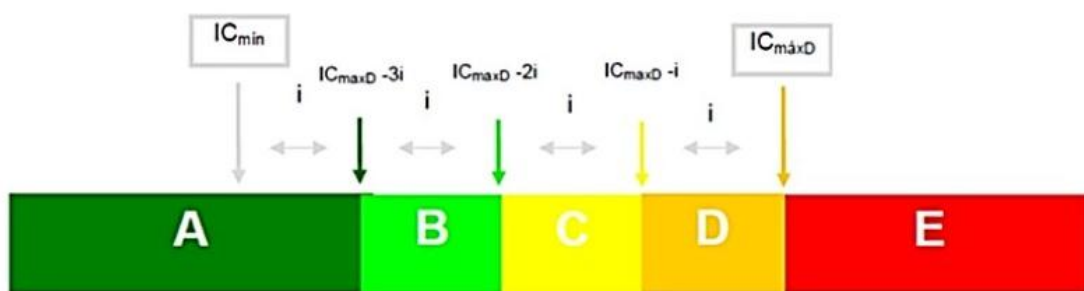
Tabela 3.3 - Limite dos intervalos dos índices de eficiência

EFICIÊNCIA	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	$IC_{máxD} - 3i + 0,01$	$IC_{máxD} - 2i + 0,01$	$IC_{máxD} - i + 0,01$	$IC_{máxD}$
Limite máximo	$IC_{máxD} - 3i$	$IC_{máxD} - 2i$	$IC_{máxD} - i$	$IC_{máxD}$	-

Fonte: Brasil, 2010.

O valor de i e de seus múltiplos é subtraído de $IC_{máxD}$, formando assim os quatro intervalos. A Figura 3.3 ilustra a abrangência do intervalo (i) na escala de Indicadores de Consumo.

Figura 3.3- Classificação do Índice de Consumo



Fonte: Brasil, 2014.

Como pode ser observado o $IC_{máxD}$ é o limite entre os níveis D e E, ou seja, uma edificação tem classificação E sempre que o IC for superior ao valor de $IC_{máxD}$. O nível E não possui limite máximo e o nível A não apresenta limite inferior. Para a determinação do nível de eficiência da envoltória, é necessário conhecer o $IC_{mín}$ e o $IC_{máxD}$ e verificar a posição do IC_{env} na escala, de acordo com os intervalos de eficiência.

Finalmente, para a Zona Bioclimática 8, em que se localiza a edificação estudada, foi adotada a Equação 3.2, em conformidade com o RTQ-C.

$$IC_{env} = -160,36.FA + 1277,29.FF - 19,21.PAFt + 2,95.FS - 0,36.AVS - 0,16.AHS + 290,25.FF.PAFt + 0,01.PAFt.AVS.AHS - 120,58 \quad \text{Eq. 3.2}$$

3.1.4 Pré-requisitos específicos da envoltória

Determinado o nível de eficiência energética foram verificados os pré-requisitos específicos da envoltória.

a) Transmitância térmica das paredes e cobertura

Para cada zona bioclimática, a transmitância térmica da cobertura possui limites distintos para ambientes condicionados artificialmente e não condicionados, enquanto que para as paredes externas os limites dependem da capacidade térmica.

O Quadro 3.5 mostra os limites máximos de transmitância térmica para a cobertura e as paredes em ambientes não condicionados, para cada nível de eficiência, na Zona Bioclimática 8.

Quadro 3.5 – Limites de transmitância térmica da Zona Bioclimática 8, de acordo com nível de eficiência, para ambientes não condicionados

NÍVEL	TRANSMITÂNCIA	
	COBERTURA	PAREDES
A	2,00 W/m ² K	2,5 W/m ² K, para paredes com capacidade térmica máxima de 80 kJ/m ² K, e 3,7 W/m ² K, para paredes com capacidade térmica superior a 80 kJ/m ² K
B	2,00 W/m ² K	2,5 W/m ² K, para paredes com capacidade térmica máxima de 80 kJ/m ² K, e 3,7 W/m ² K, para paredes com capacidade térmica superior a 80 kJ/m ² K
C e D	2,00 W/m ² K	2,5 W/m ² K, para paredes com capacidade térmica máxima de 80 kJ/m ² K, e 3,7 W/m ² K, para paredes com capacidade térmica superior a 80 kJ/m ² K

Fonte: Brasil, 2010.

b) Cor e absorvância das superfícies

Para garantir envoltórias mais eficientes, o RTQ-C determina uma absorvância máxima de 0,5 para os materiais de revestimento externo das paredes para as Zonas Bioclimáticas 2 a 8.

Para coberturas não aparentes, a absorvância solar máxima também é de 0,5, exceto para coberturas de teto-jardim ou de telhas cerâmicas não esmaltadas. A absorvância solar da envoltória, paredes e cobertura, foi verificada nas fases de projeto e execução.

c) Percentual de abertura zenital

Na CIA foi analisado o aproveitamento do percentual de abertura zenital (PAZ), tanto na fase de projeto quanto na de execução.

3.2 Classificação do sistema de iluminação

A classificação do sistema de iluminação consiste na comparação da potência instalada com a densidade de potência de iluminação limite. Diante da análise deste requisito é importante que, previamente, seja observado o projeto luminotécnico da edificação.

3.2.1 Projeto luminotécnico

Segundo o memorial descritivo do projeto elétrico da central de aulas, os níveis de iluminação necessários ao desenvolvimento das tarefas estão definidos de acordo com os planos de trabalho dos ambientes, estando em plena concordância com a Tabela 10 da NB-57/91, da Norma ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013d).

As luminárias internas foram distribuídas uniformemente no teto, respeitando as características de projeto em número e potência, tal que, juntamente com os fatores pé direito, cor de teto, cor de paredes e respectivos índices de reflexão promovam o nível de iluminamento adequado.

Nos ambientes internos os pontos de luz foram posicionados no teto através de circuito específico para iluminação, utilizando cabo com bitola mínima de 1,5 mm², sendo protegidos por disjuntores termomagnéticos devidamente coordenados.

A iluminação de emergência foi feita através de módulos autônomos para lâmpadas fluorescentes de 16 W, instalados nos corredores de saída da edificação e no interior dos ambientes, com acendimento automático, autonomia mínima de 2 horas e LED de monitoração.

3.2.2 Determinação do nível de eficiência da iluminação

O método utilizado para este cálculo foi o da área do edifício, proposto pelo RTQ-C

(BRASIL, 2010). A potência de iluminação total instalada no edifício foi verificada no quadro de cargas do projeto elétrico.

Para classificação do sistema de iluminação, além dos limites de potência instalada, deverão ser respeitados os critérios de controle do sistema de iluminação, tais como controle independente dos dispositivos de acionamento, contribuição da luz natural e desligamento automático.

Os pré-requisitos (Quadro 3.6) devem ser atendidos para cada nível de eficiência do RTQ-C, sendo que quanto maior o nível de eficiência obtido através do método, maior a quantidade de exigências e medidas de redução de consumo de energia, para os respectivos níveis.

Quadro 3.6 - Relação entre pré-requisitos e níveis de eficiência.

Pré-requisito	Nível A	Nível B	Nível C
Divisão dos circuitos	Sim	Sim	Sim
Contribuição da luz natural	Sim	Sim	-
Desligamento automático	Sim	-	-

Fonte: Brasil, 2010.

3.3 Projeto elétrico do edifício

O projeto elétrico do edifício está de acordo com o recomendado pelas Normas Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão (NBR 5410, NBR 5419, NBR ISO 8995);

Em cada pavimento existe um quadro de distribuição de 14 circuitos protegido por disjuntores e distribuídos conforme o Quadro 3.7.

Nas salas de aula o acionamento das luminárias é feito em três seções de controle manual, próximo à porta de acesso.

Quadro 3.7 – Distribuição dos circuitos dos pavimentos da Central Integrada de Aulas da UEPB

CIRCUITO	SEÇÃO (mm²)	DISJUNTORES (A)	TENSÃO (V)	POTÊNCIA (W)	UTILIZAÇÃO
1	2.5	15 A	220	2400	Circulação
2	1.5	10 A	220	1820	Circulação
3	1.5	10 A	220	1092	Circulação
4	1.5	10 A	220	1092	Circulação
5	1.5	10 A	220	1352	Circulação
6	1.5	10 A	220	900	Escada/rampa
7	1.5	10 A	220	232	WCS
8	2.5	15 A	220	2400	Fachadas
9	2.5	15 A	220	2400	Fachadas
10	1.5	10 A	220	30	Emergência
11	2.5	20 A	220	3600	Tomadas circulação
12	2.5	20 A	220	3600	Tomadas circulação
13	2.5	15 A	220	2400	Tomadas circulação
14	2.5	15 A	220	2400	Tomadas WCS

Fonte: Vasconcelos, 2010.

3.4 Classificação do sistema de condicionamento de ar

No projeto elétrico foram previstos condicionadores de ar somente para os auditórios, presumindo-se que o condicionamento de ar será predominantemente natural na maioria os ambientes. Durante a execução foram instalados equipamentos de condicionamento de ar nos auditórios e também nas bibliotecas.

O RTQ-C analisa os sistemas de condicionamento de ar de formas diferentes, considerando se os condicionadores são avaliados ou não pelo PBE/INMETRO. Os sistemas compostos por condicionadores de ar de janela e split, avaliados pelo PBE/INMETRO, são classificados com base no nível de eficiência atribuído pelo INMETRO a cada modelo. Os sistemas compostos por condicionadores não etiquetados pelo INMETRO são avaliados através do seu desempenho em relação aos níveis do RTQ-C.

O método de avaliação utilizado para obtenção da classificação do nível de eficiência energética foi o prescritivo, apresentado pelo RTQ-C (BRASIL, 2010), aplicado de forma inicial à fase de projeto do edifício e, posteriormente, ao projeto executado. Foi feita a análise do sistema de condicionamento de ar para classificação parcial do nível de qualidade e eficiência energética.

Para a classificação do nível de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar, inicialmente foram coletados os dados de projeto e do edifício construído, sendo, então, determinado o desempenho de potência dos equipamentos para

compor a eficiência energética do ambiente, classificando-a de acordo com a escala do INMETRO.

Os sistemas de condicionamento de ar constituídos por equipamentos do tipo janela ou Split, avaliados pelo INMETRO, para atingir o nível A devem também atender ao pré-requisito de sombreamento da unidade condensadora.

3.5 Simulação da ventilação natural

O modelo real foi utilizado para a simulação do percentual de horas ocupadas em conforto (POC), tanto na fase de projeto como na de execução. O programa *Design Builder* foi utilizado para a simulação da ventilação natural do conjunto da edificação.

As simulações foram desenvolvidas seguindo as seguintes etapas:

1. Aplicação do método *Schedule* para a ventilação natural, sendo os dados de entrada a geometria da edificação e suas partições internas. Em seguida foram inseridos os dados referentes à atividade, aos componentes construtivos e ao arquivo bioclimático.
2. Aplicação do método *Calculated* para ventilação natural, a partir dos dados de temperatura do ar interna e temperatura radiante, dados de saída do método *Schedule*, foi calculada a temperatura operativa, a temperatura de conforto e analisado o POC, de acordo com a metodologia descrita por Negreiros (2010).

Por meio de cálculo simplificado, as horas de ocupação em temperatura de conforto (18 a 29°C) foram computadas, sendo o aplicativo capaz de categorizar os dados de saída. Para ventilação natural foram simulados um total de 151 ambientes de permanência prolongada, não condicionados (ANC).

A CIA possui apenas os auditórios e as bibliotecas como áreas condicionadas artificialmente, sendo todo o restante do edifício ventilado naturalmente. Ambientes de permanência transitória (banheiros, áreas de circulação, corredores, escadas e rampas de acesso) não foram simulados.

Para comprovação do POC foi utilizada a metodologia indicada por Negreiros (2010), mais apropriada a edificações ventiladas naturalmente, cujas etapas são as seguintes:

1. Cálculo da temperatura neutra ou temperatura de conforto usando a Equação 3.3;

$$T_c = 0,31T_e - 17,8$$

Eq. 3.3

Sendo:

Tc = temperatura de conforto, em °C

Te = temperatura média mensal externa, em °C

2. Definição dos limites das zonas térmicas¹;
3. Cálculo do incremento de estabelecimento dos limites da zona de conforto com uso da ventilação e desconforto ao calor, utilizando a Equação 3.4:

$$dT = a + b*x_1 + c*x_2 + d*x_1^2 + e*x_2^2 + f*x_1*x_2 + g*x_1^3 + h*x_2^3 + i*x_1*x_2^2 + j*x_1^2*x_2 \quad \text{Eq. 3.4}$$

Sendo:

dT = incremento de temperatura por uso da velocidade do ar, em °C;

x₁ = diferença entre a temperatura radiante e a temperatura do ar, em °C;

x₂ = velocidade do ar, em m/s;

a, b, c, d, e, f, g, h, i, j = constantes.

a = -8,95E-03 / b = 9,03E-03 / c = 1,67 / d = -2,18E-04 / e = 4,86 / f = 0,14 / g = -1,33E-04 / h = -3,58 / i = -1,61E-02 / j = 2,48 E-03

4. Estabelecimento dos limites da zona de conforto;
5. Cálculo da temperatura operativa, de acordo com a Equação 3.5 (ISO 7730):

$$t_o = A t_a + (1-A)t_r \quad \text{Eq. 3.5}$$

Sendo:

t_o = temperatura operativa, em °C;

t_a = temperatura do ar, em °C;

t_r = temperatura radiante, em °C;

A = fator que depende da velocidade do vento (Tabela 3.4).

Tabela 3.4 – Valores do fator A em função da velocidade do ar

VELOCIDADE DE AR (m/s)	A
v < 0,2	0,5
0,2 < v < 0,6	0,6
0,6 < v < 0,7	0,7

Fonte: ISO 7730

6. Comparação da temperatura operativa de cada ambiente simulado com os limites calculados para a definição das horas em conforto;

¹ Segundo Negreiros (2010) define-se a variação de conforto de ± 2,5°C para a zona de conforto. Abaixo desta variação haverá desconforto por frio e valores maiores indicam conforto por uso de ventilação ou desconforto ao calor.

7. Atribuição dos respectivos equivalentes numéricos de ventilação (EqNumV), e classificação de cada ambiente, de acordo com a Tabela 3.5:

Tabela 3.5 – Equivalentes numéricos para ventilação natural

Percentual de Horas Ocupadas em Conforto (POC)	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

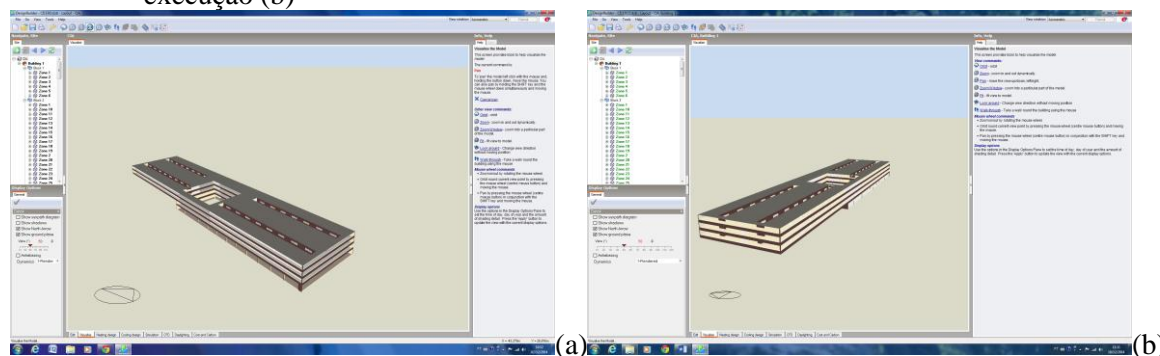
Fonte: Brasil, 2010.

A variável correspondente ao nível de eficiência da ventilação natural é o equivalente numérico de ventilação (EqNumV), obtido através do percentual de horas em conforto (POC) dos usuários de cada ambiente. Este valor faz parte do cálculo da pontuação total que classificará a edificação por completo.

A ventilação natural ainda não possui um método específico de validação em programas computacionais. Entre os programas avaliados estão o Energy-Plus e o Esp-r (JUDKOFF; NEYMARK, 2006). O RTQ-C determina que as horas de conforto adotadas como base de cálculo do POC deve ser baseada na norma ASHRAE 55 *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy* (1992) ou na ISO 7730 *Moderate thermal environments: determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort*(1984) (FROTA, 2003).

A simulação computacional adotada segue todos os pré-requisitos determinados pelo RTQ-C. As Figuras 3.4a e 3.4b ilustram, respectivamente, o layout do programa aplicado à edificação estudada nas fases de projeto e de execução.

Figura 3.4 – Layout do programa com a edificação estudada na fase de projeto (a) e na fase de execução (b)

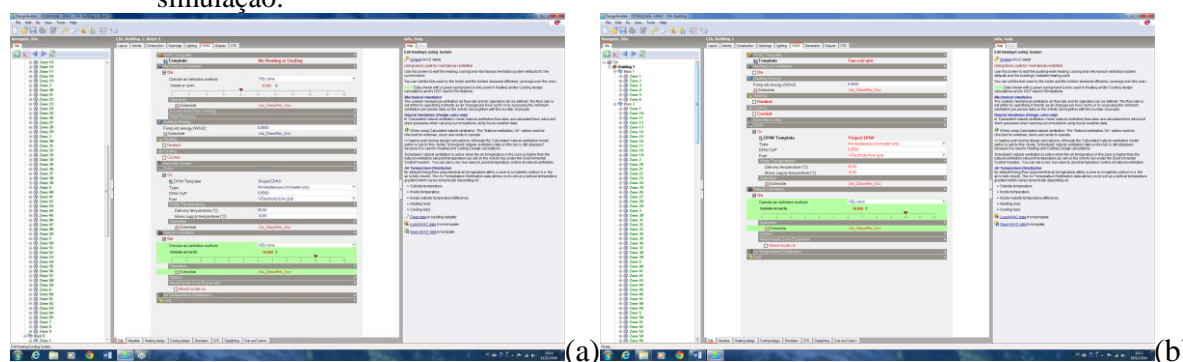


Fonte: Autor, 2014.

O arquivo climático adotado na simulação foi o TMY, de Guararapes no Recife, por ser a localidade mais próxima, com dados disponíveis, pertencente à mesma zona bioclimática da edificação estudada. Tal arquivo possui dados de temperatura, umidade, direção e velocidade dos ventos, radiação e encontra-se inserido no banco de dados do *Design Builder*.

As Figuras 3.5a e 3.5b ilustram a interface do programa aplicado à simulação da ventilação natural da edificação, nas fases de projeto e execução.

Figura 3.5 – Definição das características do projeto arquitetônico (a) e projeto executado (b) para simulação.



Fonte: Autor, 2014.

3.6 Classificação final da edificação quanto ao nível de eficiência energética

Os equivalentes numéricos para os níveis de eficiência de cada sistema individual foram obtidos de acordo com na Tabela 3.6, sendo utilizados na Equação 3.6, conforme o resultado de cada sistema individual para definir a classificação geral da edificação. A pontuação total (PT), para cada fase da edificação (projeto e execução), foi calculada com base nas avaliações de cada sistema individual na respectiva fase.

Tabela 3.6 - Equivalente numérico para cada nível de eficiência (EqNum)

NÍVEL DE EFICIÊNCIA	EQUIVALENTE NUMÉRICO
A	5
B	4
C	3
D	2
E	1

Fonte: Brasil, 2010

$$PT = 0,30 \cdot \left\{ \left(EqNumEnv \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right\} + 0,3 \cdot (EqNumDPI) + 0,4 \cdot \{ (EqNumCA \cdot AC/AU) + (APT/AU \cdot 5 + ANC/AU \cdot EqNumV) \} + b_0^1 \quad Eq.3.6$$

Posteriormente, foi feita a verificação de atendimento aos pré-requisitos de cada sistema individual e da classificação geral. Por fim, foram determinados os níveis de eficiência energética geral e parcial nas fases de projeto e de execução.

4 RESULTADOS E DICUSSÃO

4.1 Classificação do nível de eficiência energética da envoltória

Para a aplicação do método prescritivo foram utilizados os dados para a edificação nas fases de projeto e de execução, apresentados na Tabela 4.1. Esses dados resultaram de levantamentos do projeto arquitetônico e *in loco*, respectivamente.

Tabela 4.1 – Dados levantados para o método prescritivo nas fases de projeto e execução

VARIÁVEL		Unidade	VALOR	
Descrição	Abrev.		Projeto	Execução
Área da envoltória	Aenv	m ²	25.855,27	32.029,2
Área de projeção do edifício	Ape	m ²	8.007,3	8.007,3
Área de projeção da cobertura	Apcob	m ²	8.007,3	8.007,3
Área total construída	Atot	m ²	19.142,5	28.859,5
Ângulo horizontal de sombreamento	AHS	graus	0	0
Ângulo vertical de sombreamento	AVS	graus	0	0
Fator de altura	FA	-	0,350	0,277
Fator de forma	FF	-	0,290	0,170
Fator solar	FS	-	0,370	0,370
Percentual área de abertura na fachada total	PAFt	-	0,060	0,043
Percentual área de abertura na fachada oeste	PAFo	-	0	0
Volume total da edificação	Vtot	m ²	89.758,2	188.171,6

A envoltória não possui proteção solar horizontal nem vertical para contribuir com o conforto térmico da edificação e amenizar o efeito da radiação incidente, logo os ângulos, horizontal e vertical, de sombreamento (AHS e AVS) foram zero.

O índice de radiação solar dos vidros das esquadrias, nas fases de projeto e execução é de 28%, levando a um fator solar de 0,37 nas duas fases.

Devido ao percentual de área de abertura na fachada oeste (PAFo) ser zero em ambos os casos, os percentuais de área de abertura na fachada total (PAFt) nas fases de projeto e execução, foram de 0,06 e 0,043 respectivamente. Para decidir qual das variáveis utilizar no cálculo do Índice de Consumo (IC), foi necessário atender a condição exigida pelo requisito. Como PAF o é zero, foi utilizado o PAFt para o cálculo do IC. Os valores do fator de forma (FF) utilizados em ambas as fases foram calculados, sendo respeitado o valor mínimo (0,17) estabelecido pelo RTQ-C.

Os índices de consumo da envoltória (ICenv), nas fases de projeto e execução, foram calculados conforme a Equação 4.1, para a Zona Bioclimática 8 e área de projeção do

edifício maior que 500 m² (Ape > 500 m²), conforme estabelecido no RTQ-C.

$$IC_{env} = -160,36.FA + 1277,29.FF - 19,21.PAFt + 2,95.FS - 0,36.AVS - 0,16.AHS + 290,25.FF.PAFt + 0,01.PAFt.AVS.AHS - 120,58 \quad \text{Eq. 4.1}$$

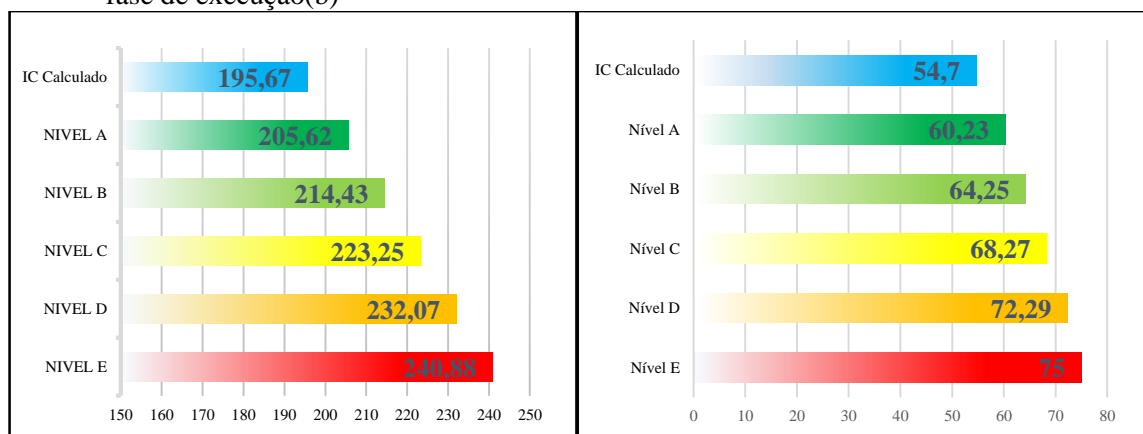
Na fase de projeto, os índices de consumo calculados foram de 196,00 para o índice de consumo da envoltória (IC_{env}), de 232,06 para o índice de consumo máximo (IC_{máxD}) e de 196,80 para o índice de consumo mínimo (IC_{mín}). Já na fase de execução esses índices de consumo foram de 54,70, 72,25 e de 56,41, respectivamente.

Os intervalos *i* para o cálculo da escala de eficiência, nas fases de projeto e de execução foram de 8,81 e 3,95, respectivamente. Com esses valores foram determinados os limites para cada nível de eficiência da envoltória, tanto para a fase de projeto (Tabela 4.2 e Figura 4.1), quanto para a fase de execução (Tabela 4.2 e Figura 4.2).

Tabela 4.2 - Índices de consumo limites para os níveis de eficiência.

EFICIÊNCIA	A	B	C	D	E
FASE DE PROJETO					
Limmín	-	205,62	214,44	223,26	232,07
Limmáx	205,61	214,43	223,25	232,06	-
FASE DE EXECUÇÃO					
Limmín	-	60,24	64,26	68,28	72,30
Limmáx	60,23	64,25	68,27	72,29	-

Figura 4.1 – Valores para o IC e os limites para cada nível da envoltória na fase de projeto(a) e na fase de execução(b)



Comparando os IC_{env}, para ambas as fases, com os limites dos níveis de eficiência, foi constatado que ambos situaram-se no intervalo de eficiência nível A, ou seja, o

equivalente numérico do índice de consumo da envoltória (EqNumEnv) foi igual a 5.

Vale ressaltar que na envoltória a diferença dos valores de IC entre a fase de projeto e a fase de execução foi devida às variações nas áreas utilizadas para os cálculos, principalmente a área da envoltória, que contribuiu para alteração no fator de forma (FF). O aumento desta variável indica que há uma superfície maior da estrutura em contato com o meio externo, proporcionando maior troca de calor, o que dificulta o controle da temperatura no ambiente e causa desconforto térmico para os usuários. Outras variáveis que influenciaram na diferença dos resultados foram o fator de altura (FA), devido à adaptação feita na execução da edificação, e o percentual de aberturas na fachada total (PAFt).

4.1.1 Atendimento aos pré-requisitos

Para determinar a classificação final do nível de eficiência energética da envoltória da Central Integrada de Aulas para as fases de projeto e de execução, além dos parâmetros calculados, foi necessário atender aos pré-requisitos gerais para o nível de eficiência desejado.

a) Transmitância térmica da cobertura

As transmitâncias térmicas calculadas para a cobertura foram de 3,42 W/m²K para a fase de projeto e de 2,89 W/m²K na fase de execução, ultrapassando o valor máximo (2,00 W/m²K), estabelecido pelo RTQ-C para ambientes não condicionados na Zona Bioclimática 8, levando a classificação da envoltória para o nível **E**.

A transmitância térmica da cobertura está diretamente ligada ao material que constitui o telhado, logo, o valor desta propriedade contribui para a instabilidade térmica, aumentando a amplitude das variações de temperatura, influenciando no desconforto térmico.

b) Transmitância térmica das paredes

A transmitância térmica das paredes foi calculada de acordo com as normas NBR 15220-2 e NBR 15220-3 (ABNT, 2005). Os valores de transmitância térmica (U) para o projeto e para a edificação executada foram, respectivamente, U = 2,42 W/m²K e U = 2,49 W/m²K. Como as transmitâncias térmicas das paredes, nas duas situações, não ultrapassaram

o limite estabelecido de $3,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ para paredes com capacidade térmica superior a $80 \text{ KJ/m}^2\text{K}$ (BRASIL, 2010), este pré-requisito foi atendido.

c) Absortância e cores das paredes e cobertura

Como as paredes da edificação nas fases de projeto e de execução são na cor branca com detalhes na cor bege, a absortância solar foi de 0,21 para a fase de projeto e 0,32 para a fase de execução. Esses valores foram menores que 0,5 e, conseqüentemente, o pré-requisito de absortância foi atendido para ambos os casos.

A cobertura, tanto na fase de projeto como na fase de execução, foi na cor cinza cuja absortância solar é de 0,4, sendo o pré-requisito de absortância atendido nos dois casos.

d) Percentual de abertura zenital (PAZ)

A edificação, nas fases de projeto e de execução, não possui aberturas zenitais, que permitam que a luz natural penetre nos ambientes internos, o que possibilitaria a redução no consumo de eletricidade para a iluminação. Deste modo, segundo o RTQ-C, a edificação só poderá atingir no máximo o nível B de eficiência para a envoltória. Logo, a edificação não atende ao pré-requisito percentual de abertura zenital, resultando na classificação parcial nível E para a envoltória.

4.2 Nível de eficiência do sistema de iluminação

A avaliação do sistema de iluminação foi realizada através do método da área do edifício, que avalia de forma conjunta todos os ambientes do edifício e atribui um único valor limite para a avaliação do sistema de iluminação. Este método deve ser utilizado para edifícios com até três atividades principais ou para atividades que ocupem mais de 30% da área do edifício.

A atividade principal do edifício é classificada, de acordo com o RTQ-C, como escola/universidade, sendo adotado o máximo aceitável de densidade de potência de iluminação limite (DPI_L) conforme a Tabela 4.3 (BRASIL, 2010).

As áreas de iluminação da edificação apresentadas na Tabela 4.4 foram multiplicadas pela densidade de potência de iluminação limite (DPI_L) para encontrar a potência limite do edifício (Tabela 4.5).

Tabela 4.3 – Limite máximo de densidade de potência de iluminação (DPI_L)

DENSIDADE DE POTÊNCIA LIMITE (DPI _L)	UNIDADE	QUANTIDADE
Densidade de potência de iluminação limite A	W/m ²	10,7
Densidade de potência de iluminação limite B	W/m ²	12,3
Densidade de potência de iluminação limite C	W/m ²	13,9
Densidade de potência de iluminação limite D	W/m ²	15,5

Fonte: Brasil, 2010.

Tabela 4.4 – Áreas de permanência prolongada dos pavimentos da Central Integrada de Aulas

PAVIMENTOS	ÁREAS DE CIRCULAÇÃO (AC)	SALAS DE AULAS
Fase de projeto		
Pilotis	3.334,14 m ²	-
Pavimento 1	577,98 m ²	1.822,59 m ²
Pavimento 2	2.437,21 m ²	3.645,18 m ²
Pavimento 3	2.437,21 m ²	3.645,18 m ²
Área	8.786,54 m ²	9.112,95 m ²
Total	17899,49 m ²	
Fase de execução		
Pilotis	3.334,14 m ²	-
Pavimento 1	2.437,21 m ²	3.645,18 m ²
Pavimento 2	2.437,21 m ²	3.645,18 m ²
Pavimento 3	2.437,21 m ²	3.645,18 m ²
Área	10.645,77	10.935,54
Total	21.581,31 m ²	

Tabela 4.5 – Potência limite do projeto arquitetônico e do projeto executado

DPI _L (W/m ²)	Nível	Potência Limite(W)	
		Fase de projeto	Fase de execução
10,7	A	191524,6072	230920,00
12,3	B	220163,8008	265450,11
13,9	C	248802,9944	299980,21
15,5	D	277442,188	334510,30

Na sua execução o projeto luminotécnico foi alterado. Conforme pode ser observado na Tabela 4.6 os tipos de lâmpadas definidas na fase de projeto arquitetônico foram do Tipo 1 - fluorescente tubular 32 W T8 e do Tipo 2 - fluorescente F20 W tubular T10. Já na fase de execução as lâmpadas foram, além dos tipos 1 e 2, do Tipo 3 - eletrônica e-27 16W, do Tipo 4 - fluorescente F20W tubular T10 e do Tipo 5 - fluorescente tubular 40

W T10.

Tabela 4.6 – Potência do sistema de iluminação dos pavimentos

LOCAL	TIPO	QUANTIDADE	POTÊNCIA (W)	POTÊNCIA INSTALADA (W)	SOMA (W)
Fase de projeto					
Pilotis	1	138	32	4416	5056
	2	32	20	640	
Pavimento 1	1	238	32	13632	16152
	2	126	20	2520	
Pavimento 2	1	818	32	26176	30376
	2	210	20	4200	
Pavimento 3	1	818	32	26176	30376
	2	210	20	4200	
Total					81960
Fase de execução					
Pilotis	3	226	16	4416	5816
	4	110	20	640	
Pavimento 1	3	148	16	1600	36120
	4	230	20	2520	
	5	800	40	32000	
Pavimento 2	3	148	16	1600	34120
	4	220	20	4200	
	5	708	40	28320	
Pavimento 3	3	148	16	1600	34120
	4	220	20	4200	
	5	708	40	28320	
Total					110176

As potências para iluminação do edifício, nas fases de projeto e execução, foram comparadas com a potência limite para cada nível de eficiência do sistema de iluminação, classificando-o no nível de eficiência **A**.

As mudanças na potência instalada na edificação construída fizeram com que o consumo de energia elétrica do edifício aumentasse e chegasse mais próximo do limite inferior de eficiência estabelecido para o nível **A**.

4.2.1 Atendimento aos pré-requisitos da iluminação

Para determinar a classificação final do nível de eficiência energética do sistema de iluminação da CIA nas fases de projeto e de execução, além do cálculo da DPI, foi necessário atender aos pré-requisitos gerais para o nível de eficiência.

O Quadro 4.1 apresenta os requisitos a serem atendidos de acordo com os

respectivos níveis de eficiência. Para obtenção do nível A de eficiência energética da iluminação, é necessário que seja atendido o maior número de pré-requisitos.

Quadro 4.1 – Pré-requisitos para classificação dos níveis de eficiência energética da iluminação

Pré-requisito	Nível A	Nível B	Nível C
Divisão de circuitos	X	X	X
Contribuição de luz natural	X	X	
Desligamento automático	X		

Fonte: Brasil, 2010

a) Divisão de circuitos

O pré-requisito da divisão de circuitos foi atendido para todos os ambientes, pois cada ambiente possui dispositivo de controle manual para acionamento independente da iluminação interna.

Vale ressaltar que os ambientes com área maior que 250 m² apresentam mais de um dispositivo de controle. Nas salas de aulas o controle é feito através de interruptores triplos localizados próximo às portas da sala, os quais ligam os circuitos separadamente. Já nos auditórios, o controle é feito através de quatro interruptores, duplicados, que estão localizados próximo à porta e à área de apresentação, os quais acionam os circuitos das luminárias da área de apresentação dos eventos, separadamente.

b) Contribuição da luz natural

Todos os ambientes, tanto no projeto como na execução, possuem aberturas voltadas para o exterior e controle manual independente para as fileiras de luminárias paralelas às aberturas. Esses ambientes possuem duas fileiras e três luminárias em cada uma delas, totalizando seis luminárias por ambiente. Com o desligamento das lâmpadas da fileira mais próxima da área de abertura, através dos interruptores devidamente individualizados, é possível reduzir os gastos de energia em cada sala de aula, tornando efetiva a contribuição da luz natural.

Deste modo o pré-requisito contribuição da luz natural foi atendido, tanto para a fase de projeto quanto para a fase de execução.

c) Desligamento automático do sistema de iluminação

Na etapa de projeto arquitetônico, sistema de desligamento automático foi previsto apenas no pilotis, mas na fase de execução, nenhum sistema de desligamento foi instalado na edificação. Como este pré-requisito não foi atendido, o nível de eficiência da iluminação passou de A para B.

4.2.3 Determinação do nível de eficiência do sistema de iluminação

A Densidade de Potência Instalada (DPI) nas fases de projeto e de execução foram de 4,58 W/m² e de 5,10 W/m², respectivamente, as quais são inferiores à DPI limite (10,7 W/m²) para o nível A, classificação essa reduzida para B pelo não atendimento do pré-requisito desligamento automático.

4.3 Nível de eficiência do condicionamento de ar

No projeto da CIA, não foi previsto sistema de condicionamento de ar para todos os ambientes, apenas para os auditórios. Foram projetados para a CIA cinco ambientes com sistema de ar condicionado, com dois aparelhos para cada ambiente, totalizando 10 aparelhos, de acordo com a Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Distribuição dos aparelhos de condicionamento de ar na CIA

PAVIMENTO	AMBIENTES	Nº DE APARELHOS
Térreo	-	-
Pavimento 1	1	2
Pavimento 2	2	4
Pavimento 3	2	4

Na aplicação do método prescritivo foram considerados os aparelhos de condicionamento de ar previstos, cujas características de desempenho são apresentadas na Tabela 4.8

Tabela 4.8 – Características de desempenho dos aparelhos de ar condicionado

MARCA	MODELO INTERNO	MODELO EXTERNO	TIPO	CAPACIDADE (BTU/h)	COP (W/W)	EFICIÊNCIA
RHEMM	RB1PT48A C2BE	RB1PT48AC2 BC	Split	4800	2,42	E

Não foi necessária a realização de cálculos de ponderação para determinação do nível de eficiência do condicionamento de ar, como exigido pelo RTQ-C, visto que as eficiências dos aparelhos são todas nível E. Logo, na fase de projeto o nível de eficiência do sistema de condicionamento de ar foi classificado como E.

Para obtenção dos dados do ambiente construído foram realizadas visitas *in loco*, tendo sido constatado que os auditórios e as bibliotecas possuíam sistemas de condicionamento de ar, sendo as características dos aparelhos apresentadas nas Tabelas 4.9 e 4.10.

Tabela 4.9 – Características dos aparelhos de condicionamento de ar nas bibliotecas 1 e 2 do Pavimento 1

AMBIENTE	ÁREA (m ²)	QUANTIDADE	MARCA	CAPACIDADE (BTU/h)	NÍVEL
Biblioteca 1	84	1	Eletrolux	7000	C
		1	Komako	12000	D
		1	LG	9000	A
Biblioteca 2	84	1	Eletrolux	7000	C
		1	Komako	12000	D
		1	LG	9000	A

Tabela 4.10 – Características dos aparelhos de condicionamento de ar nos auditórios 1 e 2 do Pavimentos 2

AMBIENTE	ÁREA (m ²)	QUANTIDADE	MARCA	CAPACIDADE (BTU/h)	NÍVEL
Auditório 1	84	1	RHEEM	4800	E
Auditório 2	84	1	RHEEM	4800	E
TOTAL	168			9600	E

Tabela 4.11 – Características dos aparelhos de condicionamento de ar no auditório do Pavimento 3

AMBIENTE	ÁREA (m ²)	QUANTIDADE	MARCA	CAPACIDADE (BTU/h)	NÍVEL
Auditório	84	1	RHEEM	4800	E
TOTAL	84			4800	E

A Tabela 4.12 resume os elementos de ponderação para a determinação do nível de eficiência do sistema de condicionamento de ar do Pavimento 1. Para os Pavimentos 2 e 3 não foi necessário realizar cálculos de ponderação, como exige o RTQ-C, visto que as

eficiências dos aparelhos são todas classificadas nível E.

A eficiência energética do sistema de condicionamento de ar do Pavimento 1 foi classificada nível C e a dos Pavimentos 2 e 3 nível E.

Tabela 4.12 – Elementos de ponderação para determinação do nível de eficiência do sistema de condicionamento de ar do Pavimento 1

MARCA	EQUIVALENTE NUMÉRICO	COEFICIENTE DE PONDERAÇÃO	RESULTADO PONDERADO
Eletrolux	3	0,25	0,75
Komecoo	2	0,43	0,86
LG	5	0,32	1,6
TOTAL			3,21

O nível de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar do edifício executado foi classificado como nível D, com base na média dos equivalentes numéricos dos pavimentos, ponderados pelas frações de área desses pavimentos.

4.4 Simulação da ventilação natural para obtenção do POC

O resultado da classificação de cada ambiente de permanência prolongada não condicionado foi obtido com o cálculo da temperatura operativa, a partir dos dados de saída (Design Builder) de temperatura do ar interna e temperatura radiante da CIA.

A Tabela 4.13 apresenta os percentuais de horas ocupadas em conforto (POC) de cada pavimento, nas etapas de projeto e de execução, estimados com base na média ponderada dos POCs dos ambientes simulados, bem como as correspondentes classificações.

Tabela 4.13 – Percentual de conforto, EqNumV e classificação de cada área não condicionada

Ambientes	POC (%) médio	Eq.NumV	Classificação
Fase de projeto			
PavimentoPilotis	79,23	4	B
Pavimento 1(30 salas)	65,25	3	C
Pavimento2 (60salas)	67,33	3	C
Pavimento3 (60 salas)	68,09	3	C
Fase de execução			
PavimentoPilotis	79,23	4	B
Pavimento 1(60 salas)	64,16	3	C
Pavimento 2 (60 salas)	67,36	3	C
Pavimento 3 (60 salas)	68,66	3	C

O equivalente numérico de ventilação (EqNumV) para a edificação foi de 3,33 para a fase de projeto e 3,24 para a fase de execução, correspondendo, ambos, à classificação C para as áreas não condicionadas da CIA (Tabela 4.14).

Tabela 4.19 – Áreas de mesma classificação e representatividade destas áreas

Etiqueta	EqNumV	Área total de mesma classificação (m ²)	Coefficiente de Ponderação	Equivalente Numérico Ponderado
Fase de projeto				
B	4	3.834,14	0,33	1,32
C	3	8.005,00	0,67	2,01
	Total	11.839,14	1,00	3,33
Fase de execução				
B	4	3.334,14	0,24	0,96
C	3	10.206,00	0,76	2,28
	Total	13.540,14	1,00	3,24

4.5 Pontuação Total

A pontuação total da eficiência energética da edificação foi obtida através da Equação 4.2, estabelecida pelo RTQ-C, sendo suas variáveis apresentadas na Tabela 4.15.

$$PT = 0,30. \{ (EqNumEnv. AC/AU) + (APT/AU. 5 + ANC/AU. EqNumV) \} + 0,3. (EqNumDPI) + 0,4. \{ (EqNumCA. AC/AU) + (APT/AU. 5 + ANC/AU. EqNumV) \} + b_0^1$$

Eq. 4.2

Tabela 4.15 – Variáveis de pontuação total da edificação estudada nas fases de projeto e de execução

VARIÁVEL	PROJETO ARQUITETÔNICO	PROJETO EXECUTADO
<i>EqNumEnv</i> - Envoltória	1	1
<i>EqNumDPI</i> - Iluminação	4	4
<i>EqNumCA</i> - Condicionamento de ar	1	1,66
<i>EqNumV</i> - Ventilação Natural	3,33	3,24
<i>AU</i> - Área Útil	17899,5	21581,31
<i>AC</i> - Área Condicionada	420	420
<i>ANC</i> - Área Não-Condicionada	17125,7	21161,31
<i>APT</i> - Área de Permanência Transitória	353,8	353,8
<i>b</i> - Bonificações	0	0

O resultado da classificação final da edificação estudada foi de 3,51, na fase de projeto, e de 3,50, na fase de execução, correspondendo à classificação final nível B, para

ambas as fases.

4.6 Importância simulação da ventilação natural na etiquetagem da edificação

O equivalente numérico da ventilação é a variável mais influente na estimativa da pontuação total da edificação. A Tabela 4.16 apresenta os resultados de pontuações totais e correspondentes classificações, com base em valores atribuídos ao equivalente numérico de ventilação, sendo possível verificar que o aumento de uma unidade no EqNumV leva à melhoria progressiva da pontuação total.

Tabela 4.16 – Resultados da pontuação total em função do equivalente numérico

EqNumV	FASE DE PROJETO		FASE DE EXECUÇÃO	
	Pontuação total	Classificação	Pontuação total	Classificação
1	1,95	D	1,96	D
2	2,62	C	2,64	C
3	3,29	C	3,33	C
4	3,96	B	4,02	B
5	4,63	A	4,70	A

Visando explorar melhor a discussão dos resultados obtidos e enfatizar a importância da simulação da ventilação natural, foram analisados 8 cenários para o resultado da pontuação total (Tabela 4.17):

- Cenário 1 - Resultado da pontuação total calculada para a fase de projeto sem a simulação da ventilação natural;
- Cenário 2 - Resultado da pontuação total calculada para a fase de projeto com a simulação da ventilação natural;
- Cenário 3 - Resultado da pontuação total calculada para a fase de execução sem a simulação da ventilação natural;
- Cenário 4 - Resultado da pontuação total calculada para a fase de execução com a simulação da ventilação natural;
- Cenário 5 – Resultado da pontuação total calculada para a fase de projeto com bonificações, sem a simulação da ventilação natural;
- Cenário 6 - Resultado da pontuação total calculada para a fase de projeto com bonificações, com a simulação da ventilação natural;

- Cenário 7 – Resultado da pontuação total calculada para a fase de execução com bonificações, sem a simulação da ventilação natural;
- Cenário 8 - Resultado da pontuação total calculada para fase de execução com bonificações, com a simulação da ventilação natural.

Tabela 4.17 – Pontuação total para os cenários analisados sobre a importância da simulação da ventilação natural

Variável	CENÁRIO							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>EqNumEnv</i>	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>EqNumDPI</i>	4	4	4	4	4	4	4	4
<i>EqNumCA</i>	1	1	1,66	1,66	1	1	1,66	1,66
<i>EqNumV</i>	1	3,33	1	3,24	1	3,33	1	3,24
<i>AU</i>	17899,5	17899,5	21581,31	21581,31	17899,5	17899,5	21581,31	21581,31
<i>AC</i>	420	420	420	420	420	420	420	420
<i>ANC</i>	17125,7	17125,7	21161,31	21161,31	17125,7	17125,7	21161,31	21161,31
<i>APT</i>	353,8	353,8	353,8	353,8	353,8	353,8	353,8	353,8
<i>b</i>	0	0	0	0	1	1	1	1
PT	1,95	3,51	1,96	3,50	2,95	4,51	2,96	4,50

Nos cenários 1, 3, 5 e 7, sem simulação da ventilação natural, o RTQ-C recomenda o POC<50%, que corresponde a EqNumV igual a 1. De modo geral, a análise da Tabela 4.17 demonstra a importância da simulação de ventilação natural no cálculo da pontuação total e respectiva etiqueta, tanto na fase de projeto como na de execução.

5.0 DISCUSSÃO

A melhoria da eficiência energética traz benefícios sociais, econômicos e ambientais, além disso, junto à utilização das normas de desempenho, contribui para redução do consumo de energia sem comprometer o conforto dos usuários.

O prédio analisado é uma edificação recém-construída destinada à realização de aulas teóricas e práticas, tendo atingido o nível de eficiência energética B para o qual contribuíram o material da cobertura, os equipamentos de condicionamento de ar e de controle de iluminação, a insuficiência de aberturas na fachada oeste e a ausência de bonificações. Essa classificação não é ruim, mas a expectativa para uma edificação nova, teoricamente construída seguindo as normas de engenharia, destinada à prestação de serviços públicos, particularmente na área da educação superior, é a de atingir uma eficiência energética máxima, isto é, classificação A.

A melhoria do nível de eficiência energética da edificação construída é possível através da aplicação de medidas corretivas nos diferentes sistemas individuais e da adoção de bonificações o que implicará em custos imediatos, cujo retorno ocorrerá somente em médio e longo prazos.

O material de cobertura utilizado contribuiu para a redução do nível de eficiência (C) de todos os ambientes localizados no último pavimento, o que refletiu negativamente na etiqueta final da edificação. Materiais de cobertura com menores transmitâncias térmicas, como telhas cerâmicas, podem ser considerados como alternativas para melhorar o desempenho térmico, mas a decisão pela mudança deve levar em conta também outros aspectos construtivos, a exemplo da sobrecarga estrutural, facilidade de instalação e manutenção, além do sempre presente aspecto do custo.

A maioria dos equipamentos de condicionamento de ar instalados foi de etiqueta E e sua mudança para equipamentos nível A implicaria, certamente, num efeito positivo sobre a classificação final, tendo em vista o elevado peso (0,4) do sistema de condicionamento de ar na pontuação total.

O sistema de iluminação não atingiu o nível A devido ao não atendimento do pré-requisito de desligamento automático, portanto, a adoção de equipamentos desse tipo, de custo baixo e execução simples, contribuiria para elevar o nível desse sistema ao máximo.

O percentual de aberturas da fachada, particularmente a fachada oeste de qualquer edificação, sempre deve ser cautelosamente estudado, levando em consideração a insolação,

a direção dos ventos, além de proteções solares ocasionalmente projetadas. No caso estudado foi constatada a ausência de aberturas na fachada oeste, impossibilitando a ventilação cruzada e dificultando as trocas de calor. Portanto, é recomendável a adoção de aberturas nessa fachada com vistas ao aumento do EqNum calculado para a envoltória.

O investimento em bonificações seria uma solução, tanto para melhorar o nível de eficiência quanto para a economia financeira, pois os gastos com a implantação de tecnologias poupadoras trariam retorno financeiro em médio e longo prazos. Além disso, as bonificações podem elevar em até um ponto o EqNum final da edificação, o que ordinariamente representa a elevação de um nível na classificação final.

6.0 CONCLUSÕES

O nível de eficiência energética da Central de Integração Acadêmica (CIA) da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) em Campina Grande-PB foi B, tanto na fase de projeto quanto na fase de execução.

A classificação da envoltória alcançou o nível E nas fases de projeto e execução, devido ao não atendimento do pré-requisito da transmitância térmica da cobertura; o atendimento desse pré-requisito levaria à classificação A.

O sistema de iluminação atingiu o nível B, nas fases de projeto e execução. O resultado para o equivalente numérico de iluminação poderia ser maior se o pré-requisito de desligamento automático fosse atendido.

No sistema de condicionamento de ar o nível de eficiência energética foi E para a fase de projeto e D para a fase de execução, devido à classificação dos equipamentos instalados

O estudo da eficiência energética dos sistemas individuais (envoltória, sistema de iluminação e condicionamento de ar) em ambas as fases, comprovou que o projeto de arquitetura, poderia ter obtido um melhor resultado, com a utilização de melhores materiais equipamentos com vistas a tirar proveito das características climáticas locais.

Por fim, a edificação possui o nível de eficiência energética aceitável para utilização, com potencial para atingir o nível máximo de eficiência, desde feitas as adequações discutidas anteriormente.

Deste modo, as propostas de melhorias para a CIA tornam-se um investimento econômico, ecológico e sustentável, promovendo a qualidade e ou conforto ambiental para os usuários.

7.0 RECOMENDAÇÕES

Fica sugerido para trabalhos futuros ligados a avaliação da eficiência energética na CIA a aplicação o RTQ-C à edificação a partir do método de simulação; Fazer as medições do desempenho e de conforto do edifício avaliado, testar as diferentes proteções solares no projeto e na edificação, a fim de verificar a real contribuição dos ângulos verticais e horizontais de sombreamento para zona bioclimática 8.

Também é interessante Estudar ventilação natural a partir dos dados bioclimáticos do ano de referência da cidade de Campina Grande-PB, para comprovar através de equações, os percentuais de horas ocupadas de conforto pelo método de simulação, possibilitando a obtenção do resultado mais próximo da condição atual e real da edificação

Com relação aos resultados, a implantação de elementos de sombreamento nas fachadas, cores claras na cobertura e materiais de construção que proporcionem baixa transmitância térmica, somadas ao bom projeto de aberturas com ventilação cruzada, seriam alguns dos recursos que colocariam em prática as recomendações de Givoni (1992) para o clima da cidade Campina Grande-PB e que garantiriam o alto nível de qualidade do projeto.

Já a captação de água da chuva para reuso em irrigação das áreas verdes, o uso racional e o uso de práticas de aproveitamento de águas pluviais e sistemas economizadores de água, a exemplo de temporizadores e sanitários com sensores, seriam medidas que enfatizariam a sustentabilidade da edificação e que numericamente fariam diferença no nível de eficiência, na qualidade final do ambiente e na sua classificação final, pois melhorariam a pontuação total por serem caracterizados como bonificações.

Para que a edificação estudada pudesse aumentar o nível da classificação final da envoltória para nível A, teria que ser realizada uma reforma em sua estrutura, mais precisamente na cobertura, onde seriam substituídas as telhas de fibrocimento, lâmina de alumínio polido e forro de laje pré-moldada, por telha de cerâmica. Essa mudança, deveria ser tal, que fizesse a transmitância enquadrar-se aos limites exigidos pela portaria, como foi verificada na absorvância da cobertura.

De fato, é preciso fazer uso de técnicas que propiciem condições de conforto térmico, bem como a iluminação zenital, cujo qual é requisito indispensável para obtenção do nível A de eficiência energética da envoltória, visando o consumo consciente de energia.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5410 – Instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5419 – Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas**. Rio de Janeiro, 2005a.

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

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220-2– Desempenho térmico de edificações - Parte 1: 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, 2005c.

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, 2005d.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16.401– Instalações de ar condicionado, sistemas centrais e unitários - Parte 1: Projetos das instalações**. Rio de Janeiro, 2008a

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16.401 – Instalações de ar condicionado, sistemas centrais e unitários - Parte 2: Parâmetros de conforto térmico**. Rio de Janeiro, 2008b

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16.401 – Instalações de ar condicionado, sistemas centrais e unitários - Parte 3: Qualidade do ar interior**. Rio de Janeiro, 2008c

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575-1 – Desempenho de edificações habitacionais**. Rio de Janeiro, 2013a.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575-4 – Sistemas de vedações verticais internas e externas**. Rio de Janeiro, 2013b.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575-5 – Requisitos para sistemas de coberturas**. Rio de Janeiro, 2013c.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ISO/CIE 8995-1: Iluminância de interiores**. Rio de Janeiro, 2013d.

ANDRADE, N. C.; RORIZ, M. Comportamento Térmico de Cobertura Verde Utilizando a Grama *Brachiaria Humidicola* na Cidade de São Carlos. **PARC: Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 1, p. 5, 2009

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

Environmental health committee (ehc) minutes. Atlanta 2003.

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **ASHRAE Handbook – Fundamentals.** Atlanta, 2005.

BRASIL. Presidência da República. **Decreto nº 4059.** Regulamenta a Lei no 10.295, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. Brasília, 2001a.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 10295.** Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Brasília, 2001b.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria nº 163.** Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Rio de Janeiro, 2009.

BRASIL. Instituto de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria nº 53.** Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – Parte 2: RTQ-C. Rio de Janeiro, 2009.

BRASIL. Instituto de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria nº 372.** Requisitos Técnicos da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RTQ-C. Rio de Janeiro, 2010.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional 2013:** Ano base 2012. Rio de Janeiro, RJ: EPE, 2013.

BRUM, T. F. Requisitos técnicos da qualidade do nível de eficiência energética aplicada em edificação pública em fase de projeto: o caso do Centro de Convivência para Idosos em Doutor Maurício Cardoso-RS. 2011. 148 f. **Dissertação** (mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2011.

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

CARLO, Joyce C.; LAMBERTS, R. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios Parte 2: método de simulação. **Ambiente Construído (Online)**, v. 10, p. 27-40, 2010.

DIAS, D. S.s; DA SILVA, P. F. G. Estudo de Viabilidade da Aplicação do Programa Procel Edifica em Edifícios Comerciais já Existentes: Estudo de Caso em um Edifício Comercial de Curitiba. 2010. 105 f. **Monografia** (Graduação de Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba, 2010.

DORNELLES, K. A.; CARAM, R. M.; SICHIERI, E. P.. Absortância solar e desempenho térmico de tintas frias para uso no envelope construtivo. **Paranoá**, v. 12, p. 55-64, 2014.

ENERGYPLUS. **EnergyPlus Auxiliary Programs.** US Department of Energy, 12 de Outubro de 2010. Disponível em: <www.eere.energy.gov>. Acesso em: 10 dez. 2014.

EUROPEAN STANDARD. **EN15251**. Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. Brussels. Comité Européen de Normalisation, 2007

FANGER, P. O. **Thermal Comfort**. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970.

FARIA, J. A. de. **Capacidade térmica e calor específico**. Disponível em: <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=34510>. Acesso em: 10 ago. 2014.

FOSSATI, M; MORISHITA, C.; LAMBERTS, R.A. Eficiência Energética em Edificações e a Regulamentação Brasileira. **Revista Brasileira de Eficiência Energética**, v. 1, p. 5-14, 2011.

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

FROTA, A. B.; Schiffer, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. 6ª edição, São Paulo: Studio Nobel, 2003.

GIVONI, B. **Man, climate and architecture**. Londres: Elsevier Publishing Company Limited. 1969.

GIVONI, B. Comfort climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, n. 1, p. 11-23, 1992.

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

HARA, A. H.; PEREIRA, F.O. R. Adaptação às condições de iluminação natural. In: IX ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO E V ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2007, Ouro Preto, MG. **Anais...**Belo Horizonte, MG: Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. v. 1.

ISO 7730. International Standard. **Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria**. Switzerland, 2005

JUDKOFF, R.; NEYMARK, J. **Model Validation and Testing: The Methodological Foundation of ASHRAE Standard 140**. In: ASHRAE 2006 Annual Meeting, Quebec City, Canada. **Anais...**15 p., 2006.

JUNIOR, P. R. de S.; HENRIQUES, M. E. **Estudo e Regulamentação da Etiquetagem Energética para edifícios comerciais e públicos: Um Estudo de Caso no Edifício de Engenharia Elétrica da UFPR**. 2009. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba, 2009.

KOENIGSBERGER, O. H., Ingersoll, T. J., Mayhew, A., & Szokolay, S. V. **Climate and house design**. New York: United Nations, 1970.

LABEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Disponível em: www.labee.ufsc.br/eletrobras/etiquetagem. Acesso em: 10 set. 2014.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW, 1997.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2ª ed. São Paulo: ProLivros, 2004.

LAMBERTS, R.; GOULART, S.; CARLO, J. C; WESTPHAL, F.; PONTES, R.O. Regulamentação de Etiquetagem Voluntária de Nível De Eficiência Energética de Edifícios Comerciais e Públicos. In: V ENCONTRO NACIONAL E LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2007, Ouro Preto, MG. **Anais...** Belo Horizonte, MG: Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. Disponível em: <http://www.ufpel.edu.br/faurb/prograu/documentos/artigo2-tecnologia.pdf>. Acesso em: 18 de maio 2014.

MARINOSKI, D. L.; GÜTHS, S.; LAMBERTS, R. Development of a calorimeter for determination of the solar factor of architectural glass and fenestrations. **Building and Environment**, v. 47, p. 232-242, 2012.

NEGREIROS, B. de A. **Análise de métodos de predição de conforto térmico de habitação em clima quente-úmido com condicionamento passivo**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UFRN, 2010, 107p.

OLESEN, B. W. The philosophy behind EN15251: Indoor environmental criteria for design and calculation of energy performance of buildings. **Energy and Buildings**. Issue 7, v.39, p.740-749, 2007.

OLGYAY, V. **Clima y arquitectura en Colombia**. Colombia. Universidad del Valle, 240p, 1968.

OLGYAY, V. **Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism**, Princeton University Press, Princeton, 1963.

PACHECO, M.; LAMBERTS, R. Assessment of technical and economic viability for large-scale conversion of single family residential buildings into zero energy buildings in Brazil: Climatic and cultural considerations. **Energy Policy**, v. 63, p. 716-725, 2013

PEDRINI, A.; VENÂNCIO, R. **Treinamento para o Programa Design Builder**. Natal: UFRN, 2009, 73p.

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

PINTO, R. A.; BOLZAN, T.; COSETIN, M. R.; MIRANDA, R. F.; ÁLVAREZ, J. M. A.; PRADO, R. N. Sistema de Iluminação Pública Empregando LEDs Alimentado pela Rede Elétrica ou por Baterias utilizando Apenas um Conversor CC-CC. **Eletrônica de Potência** (Impresso), v. 18, p. 873-883, 2013.

RAMOS, G.; LAMBERTS, R. **Relatório técnico do método de avaliação do sistema de iluminação do rtq-c**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2010.

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

SANTAMOURIS, M. **Prediction Methods**. In: F. Allard (Ed.). Natural Ventilation in Buildings. London: James X James, 1998. Prediction Methods, p.63 – 156, 2006a.

SANTAMOURIS, M. Adaptive Thermal Comfort and Ventilation. **Air Infiltration and Ventilation Centre**. v.12, p.8, 2006b.

SORGATO, M. J. **Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente**. Florianópolis, SC, 2009.

TAVARES, L. R. Eficiência Energética em Edificações: aplicação do RTQ-C – Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – na cidade de Uberlândia – MG. 2011. 192 f. **Dissertação** (Mestrado) – Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília - UnB, Brasília, 2011.

TAVARES, S. F. Metodologia de Análise do Ciclo de Vida Energético de Edificações Residenciais Brasileiras, 2006. 225 f. **Tese** (doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, SC, 2006.

VASCONCELOS, C. **Projeto arquitetônico da central de aulas**. Universidade Estadual da Paraíba–UEPB. Prefeitura Universitária-campus I. Campina Grande-PB, 2010.

WILLS, W. O Aumento da Eficiência Energética nos Veículos Leves e suas Implicações nas Emissões de Gases de Efeito Estufa. Cenários Brasileiros entre 2000 e 2030. 2008. 155 f. **Dissertação** (Mestrado em Ciências de Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ. 2008.

WWF. **Agenda elétrica sustentável 2020: estudo de cenários para um setor elétrico brasileiro eficiente, seguro e competitivo** / WWF-Brasil. 2. ed. Brasília, 2007.