

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

FERNANDA FERNANDES MUCHINSKI

**ETIQUETAGEM DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO BLOCO DA
BIBLIOTECA DA UTFPR-PG**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2017

FERNANDA FERNANDES MUCHINSKI

**ETIQUETAGEM DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO BLOCO DA
BIBLIOTECA DA UTFPR-PG**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso Superior de Bacharelado em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Gerson Henrique dos Santos

PONTA GROSSA

2017



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Ponta Grossa
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Mecânica
Bacharelado em Engenharia Mecânica



TERMO DE APROVAÇÃO

**ETIQUETAGEM DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO BLOCO DA BIBLIOTECA DA
UTFPR-PG**

por

FERNANDA FERNANDES MUCHINSKI

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 1 de dezembro de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr.Gerson Henrique dos Santos
Orientador

Prof. Dr.Jhon Jairo Ramirez Behainne
Membro Titular

Prof. Dr.Thiago Antonini Alves
Membro Titular

Prof.Dr. Marcos Eduardo Soares
Responsável pelos TCC

**Prof. Dr. Marcelo Vasconcelos de
Carvalho**
Coordenador do Curso

AGRADECIMENTOS

A minha mãe e meu pai, pelo apoio incondicional, pela confiança no meu potencial, pela força e incentivo para me impulsionar a concluir essa trajetória. A minha irmã pelos conselhos essenciais para discernimento dos conhecimentos do curso. A toda minha família pelo apoio, pelos sacrifícios e pelo estímulo para conclusão deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Gerson dos Santos, pela orientação, disponibilidade, pela indicação do objeto de estudo e pelos seus aconselhamentos sobre o mesmo.

A todos os colaboradores que de forma direta ou indireta me ajudaram a realizar esse TCC, principalmente aos funcionários da Biblioteca UTFPR-PG que sempre que necessário me prestaram auxílio.

Aos meus amigos pela força, incentivo e distração durante todo esse processo, principalmente aos amigos do curso de Engenharia Mecânica da UTFPR-PG que sempre estavam presentes para auxiliar e chorar as mágoas.

Principalmente a Deus por me proporcionar essa experiência.

RESUMO

MUCHINSKI, Fernanda Fernandes. **Etiquetagem da eficiência energética do bloco da biblioteca da UTFPR-PG**. 2017. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia Mecânica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

Este trabalho utilizou a metodologia para a certificação de edificações especificadas nos Requisitos Técnicos da Qualidade (RTQ-C) do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos. Aplicaram-se os métodos prescritivo e de simulação. Baseando-se nestes métodos, este trabalho consiste em aplicar o RTQ-C para obtenção da classificação de eficiência energética da edificação da Biblioteca da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, campus de Ponta Grossa. Deste modo, realizou-se o método de simulação através do *software* Domus e os resultados obtidos foram comparados com os índices fornecidos através do método prescritivo. Feita esta comparação, estes resultados foram também comparados com os valores obtidos através da ferramenta *on-line* WebPrescritivo. Com o intuito de aumentar a eficiência energética da edificação, propostas de melhorias no projeto arquitetônico e de usabilidade foram verificadas. Em relação à aplicação destas metodologias, observou-se principalmente que a utilização do WebPrescritivo é de fácil acessibilidade. No entanto, os métodos prescritivos e de simulação necessitam ser complementados em relação à descrição dos parâmetros de entrada do projeto.

Palavras-chave: Requisitos técnicos da qualidade. Método prescritivo. Método de simulação. Eficiência energética.

ABSTRACT

MUCHINSKI, Fernanda Fernandes. **Energy efficiency labeling of UTFPR-PG library block**. 2017. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia Mecânica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

This work used the methodology for the certification of buildings specified in the Technical Quality Requirements (RTQ-C) of the Energy Efficiency Level of Commercial, Service and Public Buildings. Prescriptive and simulation methods were applied. Based on these methods, this survey consists of applying the RTQ-C to obtain the energy efficiency classification of Ponta Grossa campus of UTFPR. This way, the simulation method was performed using the Domus software and the results obtained were compared with the indices provided by the prescriptive method. After this comparison, these results were also compared with the values obtained through the WebPrescritivo online tool. In order to increase the energy efficiency of the building, proposals for improvements in the architectural design and usability were verified. Regarding the application of these methodologies, it was observed that the use of WebPrescritivo is easily accessible. However, the prescriptive and simulation methods need to be complemented in relation to the description of the input parameters of the project.

Keywords: Technical quality requirements. Methods prescriptive. Methods simulation. Energy efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Equivalente numérico para cada nível de eficiência.....	17
Figura 2 - Classificação geral	17
Figura 3 - Etiqueta de classificação geral.....	18
Figura 4 - Equivalente numérico para ventilação natural.....	20
Figura 5 – Iluminação zenital (claraboias).....	24
Figura 6 - Interface DOMUS- PROCEL EDIFICA	26
Figura 7 - Interface elementos construtivos	27
Figura 8 - Interface WebPrescritivo, entrada dados da envoltória.....	28
Figura 9 - Fachadas Biblioteca UTFPR-PG: (a) Fase norte, (b) Fase leste, (c) Fase sul, (d) Fase oeste.....	30
Figura 10 - Zoneamento bioclimático brasileiro.....	32
Figura 11 - Exemplos de ângulo vertical de sombreamento	37
Figura 12 - Ângulos horizontais de sombreamento	38
Figura 13 - Checklist: Categoria de pré-requisitos para nível A	45
Figura 14 - Faces da edificação: (a) Leste (b) Sul (c) Norte (d) Oeste.....	51
Figura 15 - Elemento construtivo, parede	52
Figura 16 Parâmetros de simulação geral (Biblioteca UTFPR-PG).....	53
Figura 17 - Interface de configuração do método de simulação.....	53
Figura 18 Interface configuração RTQ-C (Biblioteca UTFPR-PG).....	55
Figura 19 - Classificação geral método de simulação – (a)Direta, (b) Depois dos cálculos de eficiência parcial.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Combinação de métodos de avaliação para obtenção de classificação geral	16
Tabela 2 - Pré-requisitos específicos do envoltório	23
Tabela 3 - Pré-requisitos e níveis de eficiência do sistema de iluminação	24
Tabela 4 - Limite de transmitância térmica da cobertura para ambientes com condicionamento artificial e não condicionado e máxima transmitância térmica de paredes externas segundo a zona bioclimática	33
Tabela 5 - Limites de fator solar de vidros e de percentual de abertura zenital para coberturas	34
Tabela 6 - Pré-requisitos específicos da envoltória para zona bioclimática 2 (Z2)	35
Tabela 7 - Índices tabelados para calculo de transmitâncias	35
Tabela 8 - Transmitância da parede (Biblioteca UTFPR-PG)	36
Tabela 9 - Absortância da parede (Biblioteca UTFPR-PG)	36
Tabela 10 - Percentual de área de abertura	38
Tabela 11 - Substituição de valores para $IC_{máxD}$ e $IC_{mínD}$	39
Tabela 12 - Limites de intervalo dos níveis de eficiência	39
Tabela 13 - Valores limites do Indicador de Consumo da Biblioteca da UTFPR-PG	39
Tabela 14 - Área ambiente x Área independente	40
Tabela 15 - Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPIL) para o nível de eficiência pretendido - Método da área da edificação	42
Tabela 16 - Potência limite da Biblioteca UTFPR-PG	43
Tabela 17 - Espessura mínima das tubulações de aquecimento e refrigeração	44
Tabela 18 - Eficiência mínima para aquecedores de acumulação de água a gás	44
Tabela 19 - Equivalente numérico do caso estudado (Biblioteca UTFPR-PG)	46
Tabela 20 - Áreas calculadas pelo método prescritivo	47
Tabela 21 - Parâmetros de entrada	48
Tabela 22 - Síntese das características do modelo real e do modelo de referência	54

LISTA DE SIGLAS

ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EPS	Poliestireno Expandido
GT	Grupo Técnico
INMENTRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
OIA	Organismo de Inspeção Creditado
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PG	Ponta Grossa
PROCEL	Programa Nacional de Eficiência Energética
EDIFICA	Edificações
RAC	Requisitos de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações
RTQ-C	Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos
RTQ-R	Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
UH	Unidade Autônoma
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.2	OBJETIVOS	11
1.2.1	Objetivo Geral	11
1.2.2	Objetivos Específicos	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	EFICIÊNCIAS ENERGÉTICAS EM EDIFICAÇÕES BRASILEIRAS	13
2.1.1	Método Prescritivo	16
2.1.2	Método de Simulação	18
2.1.3	Pré-requisitos Gerais, Específicos e Bonificações	20
2.2	DOMUS-PROCEL EDIFICA	25
2.3	WEBPRESCRITIVO	27
3	ESTUDOS DO CASO	29
4	APLICAÇÃO DO MÉTODO PRESCRITIVO	31
4.1	ENVOLTÓRIA	31
4.1.1	Transmitância Térmica	32
4.1.2	Cores e Absortância de Superfícies	33
4.1.3	Iluminação Zenital	34
4.1.4	Procedimentos para Determinação da Eficiência	34
4.2	SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	40
4.2.1	Divisão dos Circuitos	40
4.2.2	Contribuição de Luz Natural	40
4.2.3	Desligamento Automático do Sistema de Iluminação	41
4.2.4	Procedimento de Determinação da Eficiência	41
4.3	SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DO AR	43
4.3.1	Isolamento Térmico para Dutos de Ar	43
4.3.2	Condicionamento de Ar por Aquecimento Artificial	44
4.3.3	Sistema de Condicionamento de Ar	45
4.4	CLASSIFICAÇÃO GERAL	46
5	APLICAÇÃO DO WEBPRESCRITIVO	48
6	APLICAÇÃO DO MÉTODO DE SIMULAÇÃO	50
6.1	PROGRAMA DE SIMULAÇÃO	50
6.2	METODOLOGIA	50
7	RESULTADOS E DISCUSSÕES	57

8 CONCLUSÃO.....	59
REFERÊNCIAS.....	61
GLOSSÁRIO.....	65
ANEXO A - PLANTA DA COBERTURA	66
ANEXO B – CORTES AA E ELEVAÇÃO 01	67
ANEXO C – CORTES BB, CC E ELEVAÇÃO 02 E 03	68
ANEXO D – ELEVAÇÃO 04	69

1 INTRODUÇÃO

A partir de dados fornecidos pelo Ministério de Minas e Energia do Brasil, percebe-se que o consumo de energia elétrica nas edificações brasileiras representa mais de um terço do total nacional. O emprego de padrões arquitetônicos adequados, a especificação de produtos e materiais energeticamente eficientes e a adequação de critérios e projetos racionais podem reduzir em até 60% o consumo energético das edificações.

Deste modo, este trabalho aplica os conceitos do regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos, visando obter a etiqueta nacional de conservação de energia (ENCE), do bloco da biblioteca pertencente à Universidade Tecnológica Federal do Paraná situado na cidade de Ponta Grossa.

Este regulamento apresenta dois métodos de aplicação, denominados de prescritivo e de simulação. O método prescritivo é sintetizado e avalia as edificações por meio de equações e tabelas. No caso do método de simulação, este é mais complexo onde a avaliação da eficiência ocorre de maneira mais ampla.

O exame aplicado pelo método prescritivo pode ser realizado pela ferramenta *online* WebPrescritivo, porém, os resultados obtidos através deste recurso só podem ser utilizados como conferência, já que, está é uma versão de teste.

Visando os requisitos necessários para aprovação dos resultados do método de simulação, o *software* DOMUS – PROCEL EDIFICA será utilizado para fornecer os pré-requisitos obrigatórios, os quais serão descritos neste trabalho.

Desta forma este trabalho apresenta a avaliação da eficiência energética da edificação da biblioteca da UTFPR - Ponta Grossa, tendo em vista identificar melhorias que podem ser aplicadas ao caso de estudo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo principal classificar a etiquetagem da eficiência energética do bloco da biblioteca da Universidade Tecnologia Federal do Paraná

(UTFPR) no campus de Ponta Grossa, com base no manual RTQ-C para edifícios comerciais, de serviço e públicos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar os métodos prescritivo e de simulação computacional aplicado através do *software* DOMUS – PROCEL EDIFICA, procurando possível incoerência entre eles na aplicação do caso de estudo;
- Aplicar melhorias no projeto original para obter melhor classificação da etiqueta de eficiência energética;
- Avaliar a ferramenta em desenvolvimento WebPrescritivo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O histórico internacional mostra a ocorrência de dificuldade inicial na implantação da regulamentação de eficiência energética (NETO, 2003). Esse impasse deve-se aos diversos tipos de climas existentes. Essa diversidade gerou desenvolvimentos arquitetônicos diferentes por região climática. Porém com o desenvolvimento da indústria energética no século XX, as edificações passaram a ser construídas de forma semelhantes, pois a energia elétrica passa a trazer o conforto térmico para as edificações independente do clima onde foram construídas. Com a percepção do aumento do gasto energético nas construções e a ocorrência da primeira crise petrolífera mundial em 1973, a necessidade do melhoramento da eficiência energética nos mais diversos setores se destacou. Deste modo, no setor da construção civil, normas para a regulamentação do desempenho térmico e energético de edificações foram geradas.

Os primeiros a aplicar essas regulamentações foram os países mais desenvolvidos, devido a sua maior dependência energética (NETO, 2003). Neste caso, as normas ASHRAE¹ foram tomadas como base no desenvolvimento das diretrizes de eficiência energética dos países.

As regulamentações para eficiência energética em edificações foram aprimoradas em muitos países tais como, Canadá, Estados Unidos e países da Europa, onde sistemas de avaliação e classificação de desempenho ambiental de edifícios foram propostos (CARVALHO, 2013). De um modo geral, esses sistemas incluíram apenas características do envoltório das construções (NETO, 2003). Sistemas de iluminação e sistemas mecânicos foram integrados as regulamentações em menor quantidade de países.

2.1 EFICIÊNCIAS ENERGÉTICAS EM EDIFICAÇÕES BRASILEIRAS

Em outubro de 2001, entrou em vigor a lei nº 10.295, que tratava sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Estabelecendo metas para evolução deste programa. O ponto fundamental desta lei era propor níveis

¹ ASHRAE: *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*, é uma organização dos profissionais da área de aquecimento, refrigeração e ar-condicionado, com origem nos Estados Unidos.

mínimos de eficiência energética, ou níveis máximos de consumo específico de energia para máquinas e aparelhos consumidores de energia comercializados ou fabricados no país, sendo estes níveis estabelecidos pelo poder executivo.

A lei passou a ser regulamentada pelo Decreto nº 4.059, em dezembro de 2001. Dentro das modificações realizadas está a inclusão do Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País (GT-Edificações). O objetivo proposto a este grupo era de regulamentar a avaliação da eficiência energética nas edificações, criando um método de avaliação para a certificação e requisitos técnicos, visando que novos projetos atendam ao método de avaliação.

Com a regulamentação da eficiência energética em edificações, normas foram estabelecidas. Em relação ao desempenho térmico e a iluminação natural, o Brasil possui as seguintes normas:

- NBR15215-1 (Iluminação Natural – Parte 1: Conceitos básicos e definições);
- NBR15215-2 (Iluminação Natural – Parte 2: Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural);
- NBR15215-3 (Iluminação Natural – Parte 3: Procedimentos de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos);
- NBR15215-4 (Iluminação Natural – Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações);
- NBR15220-1 (Desempenho térmico de edificações – Parte 1: Definições, símbolos e unidades);
- NBR15220-2 (Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificação);
- NBR15220-3 (Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para a habitação unifamiliares de interesse social);
- NBR15220-4 (Desempenho térmico de edificações – Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida);
- NBR15220-5 (Desempenho térmico de edificações – Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico).

As normas brasileiras que são responsáveis pela eficiência térmica de edificações são a NBR15220 e a NBR15575. A NBR15575 é responsável pelos novos padrões de qualidade para construção de casas e apartamentos e o título geral da norma é “Edificações habitacionais – Desempenho”. No caso da NBR15220, esta é responsável pelas edificações comerciais, de serviço e público.

Em relação ao histórico de criação dos órgãos responsáveis pelo plano de eficiência energética nacional, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) foi criado em 1985, com objetivo de promover a redução no consumo de energia elétrica eliminando desperdícios, e conseqüentemente, reduzindo custos e investimentos setoriais. No ano de 2003, se instituiu o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações (PROCEL EDIFICA), com o objetivo do PROCEL aplicado diretamente nas edificações, visando à diminuição de desperdícios e impactos ao meio ambiente.

Com a elaboração da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) desenvolveu-se o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). No ano de 2009 foram lançados os Requisitos de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações (RAC) e os Regulamentos Técnicos da Qualidade do nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Em 2010 ocorreu o lançamento do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R).

Os requisitos indispensáveis nas edificações para a classificação do nível de eficiência energética são descritos no RTQ-C e no RTQ-R. Esses manuais contêm os regulamentos técnicos de maneira detalhada e já interpretada sendo que a documentação necessária para a obtenção da ENCE é apresentado na RAC.

Para a obtenção da ENCE é realizada a avaliação da edificação com base nos regulamentos técnicos, sendo esta avaliação realizada por um Organismo de Inspeção Acreditado (OIA), creditado pelo INMENTRO. Os processos para obtenção de etiquetagem são:

- Inspeção de projeto: método prescritivo ou método de simulação.
- Inspeção da edificação construída: inspeção física.

Lançaram-se metas máximas para aplicação total do PBE Edifica, onde todas as edificações devem apresentar etiqueta de eficiência energética: sendo 2021 para prédios públicos, 2026 edifícios comerciais e 2031 para edificações residenciais. As

formas de avaliação das edificações variam, conforme sua função. Para edifícios comerciais, de serviço e públicos a análise é realizada quanto ao desempenho do envoltório, sistemas de iluminação e condicionamento de ar, sendo que a avaliação pode ser geral ou parcial. Entretanto, para edificações residenciais, unidade autônoma (UH) e edificação multifamiliar, verificam-se o desempenho do envoltório e dos sistemas de aquecimento de água. No caso de áreas de uso comum, examinam-se o sistema de iluminação, o sistema de aquecimento de água, elevadores e bombas centrífugas. A avaliação obtida é apenas a geral nesta análise.

2.1.1 Método Prescritivo

A classificação geral do ENCE pode ser obtida por combinações do método prescritivo e do método de simulação, como verificada na Tabela 1:

Tabela 1 - Combinação de métodos de avaliação para obtenção de classificação geral

Envoltória	Sistema de Iluminação	Sistema de Condicionamento de Ar	Ventilação Natural
Método Prescritivo	Método Prescritivo	Método Prescritivo	Método Simulação
Método Simulação	Método Simulação	Método Simulação	Método Simulação
Método Simulação	Método Prescritivo	Método Prescritivo	Método Simulação

Fonte: RTQ-C (2013)

Os níveis de classificação geral e parcial para os métodos são cinco: A, B, C, D e E. Nesta classificação, A é a mais eficiente em ordem decrescente até E. A Figura 1 mostra o equivalente numérico (EqNum) para cada classificação de eficiência:

Figura 1 - Equivalente numérico para cada nível de eficiência

A	5
B	4
C	3
D	2
E	1

Fonte: RTQ-C (2013)

Em consequência do nível de eficiência parcial e bonificações, obtém-se a classificação geral. Pesos são dados para cada equivalente numérico parcial na análise de obtenção da classificação final da edificação, sendo:

- Envoltória – 30%
- Sistema de iluminação – 30%
- Sistema de Condicionamento de Ar – 40%

Em algumas situações de avaliação, encontram-se edificações que não possuem áreas condicionadas. Estas devem comprovar o conforto térmico das pessoas, mostrando que o edifício mantém temperaturas interna nos ambientes não condicionados dentro da zona de conforto através de simulação. Para Edificações com comprovação de total ventilação natural e avaliação de conforto dos ambientes pelo método citado anteriormente, permite a obtenção de um ENCE Geral. Neste caso, O ENCE geral é dada pela pontuação total (Equação 4) a qual é mostrada no item 4.4. A pontuação para classificação geral é distribuída conforme Figura 2 e a comparação do valor da pontuação total (*PT*) encontrado pela equação com os valores dados na classificação geral, determina a classificação geral da edificação.

Figura 2 - Classificação geral

PT	Classificação Final
$\geq 4,5$ 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: RTQ-C (2013)

Após realizar a classificação tanto parcial quanto geral de eficiência energética da edificação, obtém-se a etiqueta com sua classificação (Figura 3).

Figura 3 - Etiqueta de classificação geral



Fonte: RTQ-C (2013)

2.1.2 Método de Simulação

O método de simulação como mostrado anteriormente, pode ser utilizado sozinho ou em conjunto com o método prescritivo para se obter a etiqueta de eficiência energética da edificação.

Para a utilização de um programa de simulação, tanto o *software* quanto os arquivos climáticos devem ser aprovados conforme os pré-requisitos exigidos. Esses critérios são aplicados para garantir a obtenção de resultados coerentes (RTQ-C, 2013). As características mínimas para o programa computacional a ser usado são (RTQ-C, 2013):

- ser um programa para análise de consumo de energia em edifícios;

- ser válido pela ASHRAE *Standart* 140;
- modelar 8760 horas por ano;
- modelar variações horárias de ocupação, potência de iluminação e equipamento e sistemas de ar condicionado, definidos separadamente para cada dia da semana e feriados;
- modelar efeito de inércia térmica;
- permitir a modelagem de multi-zonas térmicas;
- ter a capacidade de simular as estratégias bioclimáticas adotadas no projeto, no caso de características comuns para o modelo da edificação real e de referência;
- permitir modelar todos os sistemas de condicionamento de ar listados no Apêndice G da ASHRAE 90.1, caso o edifício proposto utilizar sistema de condicionamento de ar
- determinar a capacidade solicitada pelo sistema de condicionamento de ar;
- produzir relatórios horários do uso final de energia.

Para o arquivo climático as características são (RTQ-C, 2013):

- fornecer valores horários para todos os parâmetros relevantes requerido pelo programa de simulação, tais como temperatura e umidade, direção e velocidade do vento e radiação solar;
- os dados bioclimáticos devem ser representativos das Zona Bioclimática onde o projeto proposto será focado 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 em formatos publicados no site: www.eere.energy.gov, caso contrário, o arquivo climático deve ser aprovado pelo laboratório de referência.

A avaliação da edificação é realizada com aplicação de um modelo real e de modelos de referência. O real deve ter os dados da edificação estudada, enquanto que os de referência devem conter dados aproximados do modelo real, porém, com divergências para apresentarem níveis de classificação A, B, C e D. As características comuns entre eles é a geometria, arquivo climático, programa de

simulação, orientação geométrica, padrão de uso do sistema, valor de densidade de carga interna (*DCI*) em equipamentos, padrão de uso de pessoas com o mesmo valor de calor dissipado e mesmo tipo de sistema de condicionamento de ar.

O resultado da simulação do modelo real deve ser comparado com o do modelo de referência pretendido. Desse modo, é verificado se o consumo de energia anual é igual, menor ou superior ao nível desejado. Para edificações com não condicionamento, analisa-se também o percentual de horas ocupadas em conforto (*POC*).

Quando se tem um ambiente não condicionado ou naturalmente ventilado é obrigatória a comprovação por simulação de conforto térmico dentro da zona durante o percentual de horas ocupadas. Esse fator gera um equivalente numérico de ventilação (*EqNumV*), onde a classificação segundo percentual *POC*, é descrita na Figura 4.

Figura 4 - Equivalente numérico para ventilação natural

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

Fonte: RTQ-C (2013).

Para os casos em que se busca uma classificação parcial, os índices dos sistemas que não serão analisados devem ser preenchidos com os dados referentes ao nível de eficiência que se pretende alcançar.

2.1.3 Pré-requisitos Gerais, Específicos e Bonificações

A não apresentação dos pré-requisitos gerais que são relacionados a circuitos elétricos e aquecimento de água impede a classificação geral em um nível superior a D, porém não impede a classificação parcial.

CIRCUITOS ELÉTRICOS

Para a obtenção dos níveis A e B, o circuito elétrico deve ser separado por uso final (iluminação, sistema de condicionamento de ar) ou apresentar medição final por um equipamento (RTQ-C, 2015. pág. 67). No caso de hotéis com desligamento automático por quartos, edificações com unidades autônomas de consumo e edificações construídas em anos inferiores a 2009, esse pré-requisito não precisa ser aplicado.

AQUECIMENTO DE ÁGUA

Nos casos de edificações que apresentem um percentual de gasto com água quente igual ou superior a 10% do consumo total de energia, deve-se aplicar o pré-requisito de aquecimento de água. Para atender ao nível A de classificação, a edificação deve comprovar que 100% da água quente é atendida por um ou mais sistemas de aquecimento, sendo eles:

- sistema de aquecimento solar;
- aquecedores a gás tipo instantâneo;
- sistema de aquecimento de água por bombas de calor e caldeiras a gás.

Os sistemas citados devem atender aos requisitos a eles estipulados, os quais são descritos detalhadamente no RTQ-C.

Quando comprova-se 70% ou mais da demanda de água quente produzida pelos sistemas de aquecimento de água, pode-se obter nível B, desde que seja aquecido por sistema solar, aquecedor a gás tipo instantâneo ou por bombas de calor. Estes sistemas devem atender os pré-requisitos a cada um deles estipulados no RTQ-C e seguir as condições de isolamento das tubulações.

No caso dos edifícios que atendam porcentagens menores que 70%, com sistemas de aquecimento solar e a gás onde ocorre complementação com sistemas de aquecimento elétrico, o nível máximo que se pode ser alcançado é o C.

Já com as bonificações, o objetivo é incentivar a aplicação de soluções eficientes para elevação da eficiência energética no edifício. Os diferenciais aplicados geram uma pontuação extra. As melhorias devem ser comprovadas por memorial de cálculo, sendo um apresentando análise da edificação sem a bonificação e outro com a bonificação. Os pontos das bonificações podem ser obtidos por combinações de economias distintas, que atendem parcialmente seu

item (valores menores que o 30% do exigido) ou atendimento total de um dos itens de bonificação.

De forma sucinta, são cinco possibilidades para se obter bonificação na edificação:

- comprovar redução no consumo de água de no mínimo 40%;
- utilizar aquecimento solar para aquecer água, atendendo no mínimo 70% da água quente total;
- possuir sistemas de geração de energia alternativas (solar e/ou eólica) comprovando redução de no mínimo 10% do consumo anual de energia elétrica;
- ter sistemas de cogeração e inovações técnicas, ou de sistemas que aumentem a eficiência energética da edificação, comprovando economia mínima na energia elétrica anual de 30%;
- deter todos os elevadores com a classificação ENCE de nível A , conforme norma VDI 4707.

Qualquer aplicação de iniciativas que economizem no consumo de energia elétrica podem gerar bonificações, desde que estas sejam comprovadas. No entanto, nestes casos, a pontuação máxima por bonificação seria um.

Com relação aos pré-requisitos específicos do método de simulação, estes são descritos no item 2.1.2 Os pré-requisitos específicos do envoltório tem sua síntese na Tabela 2, sendo que para a transmitância térmica da cobertura e paredes exteriores possuem valores máximo distinto para os níveis A, B, C e D. Os índices que excedem o máximo do nível D, deslocam-se para o nível E. As exigências para cores e absorbâncias de superfície são aplicadas apenas para os níveis A e B, assim como a iluminação zenital.

Tabela 2 - Pré-requisitos específicos do envoltório

Pré-requisitos	Nível				
	A	B	C	D	E
Transmitância térmica da cobertura e paredes exteriores	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
Cores e absorvâncias de superfície	Sim	Sim	Não	Não	Não
Iluminação Zenital	Sim	Sim	Não	Não	Não

Fonte: RTQ-C (2013)

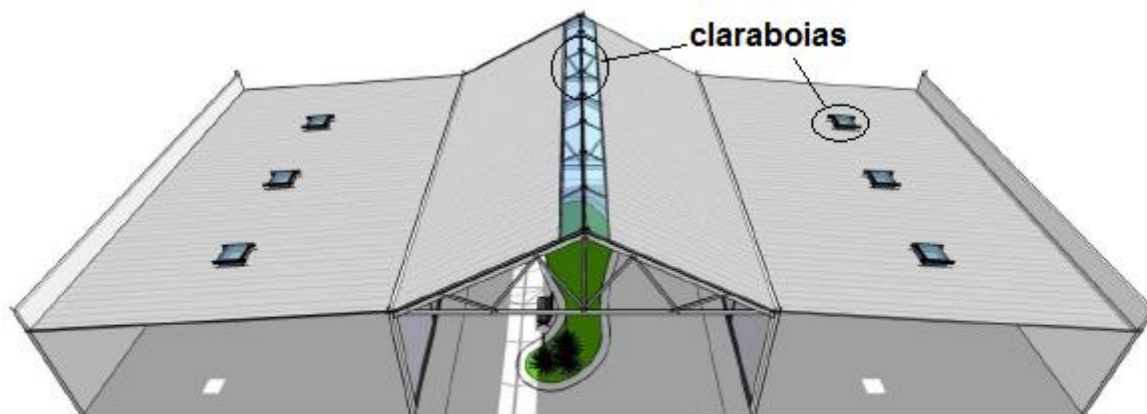
Pode-se visualizar na Tabela 2 que o não cumprimento dos pré-requisitos diminui o nível máximo que se pode alcançar. Um edifício que não cumpre os pré-requisitos do envoltório, atingirá como máxima classificação específica, o nível E.

Os valores limites de transmitância são distintos para ambientes condicionados e não condicionados, sendo que esses dados também variam conforme as zonas bioclimáticas.

O requisito de absorvância solar indica a porcentagem de radiação incidente que é absorvida pelo corpo (INCROPERA, 2008). Quando não se tem possibilidades de medição da absorvância, a cor da superfície pode ser utilizada para indicação deste valor e seu índice pode ser encontrado em catálogo de fabricantes. A norma NBR 15220 apresenta valores de absorvância para diferentes cores e superfícies.

Com relação às aberturas zenitais, elas são responsáveis pela entrada de luz natural nos ambientes internos, proporcionando uma redução no consumo de energia elétrica das edificações. Um exemplo de abertura zenital é dado na Figura 5.

Figura 5 – Iluminação zenital (claraboias)



Fonte: RTQ-C (2013)

O sistema de iluminação tem um resumo dos seus pré-requisitos por nível de eficiência demonstrado na Tabela 3. Para a condição da divisão dos circuitos, cada ambiente deve ter ao menos um dispositivo de acionamento manual para controle independente da iluminação interna. No quesito de contribuição da luz natural, cada linha de luminárias paralelas às janelas deve ter controle independente das demais linhas de luminária. No de desligamento automático do sistema de iluminação, deve-se ter um controle de desligamento automático, caso estes ambientes não estejam em uso. Os detalhamentos dos pré-requisitos do sistema de iluminação são descritos no item 4.2.

Tabela 3 - Pré-requisitos e níveis de eficiência do sistema de iluminação

Pré-requisitos	Nível				
	A	B	C	D	E
Divisão dos circuitos	Sim	Sim	Sim	Não	Não
Contribuição da luz natural	Sim	Sim	Não	Não	Não
Desligamento automático do sistema de iluminação	Sim	Não	Não	Não	Não

Fonte: RTQ-C (2013)

Para o sistema de condicionamento de ar tem-se apenas pré-requisitos para o nível de eficiência A. Estas especificações de quesitos são descritos no item 4.3.

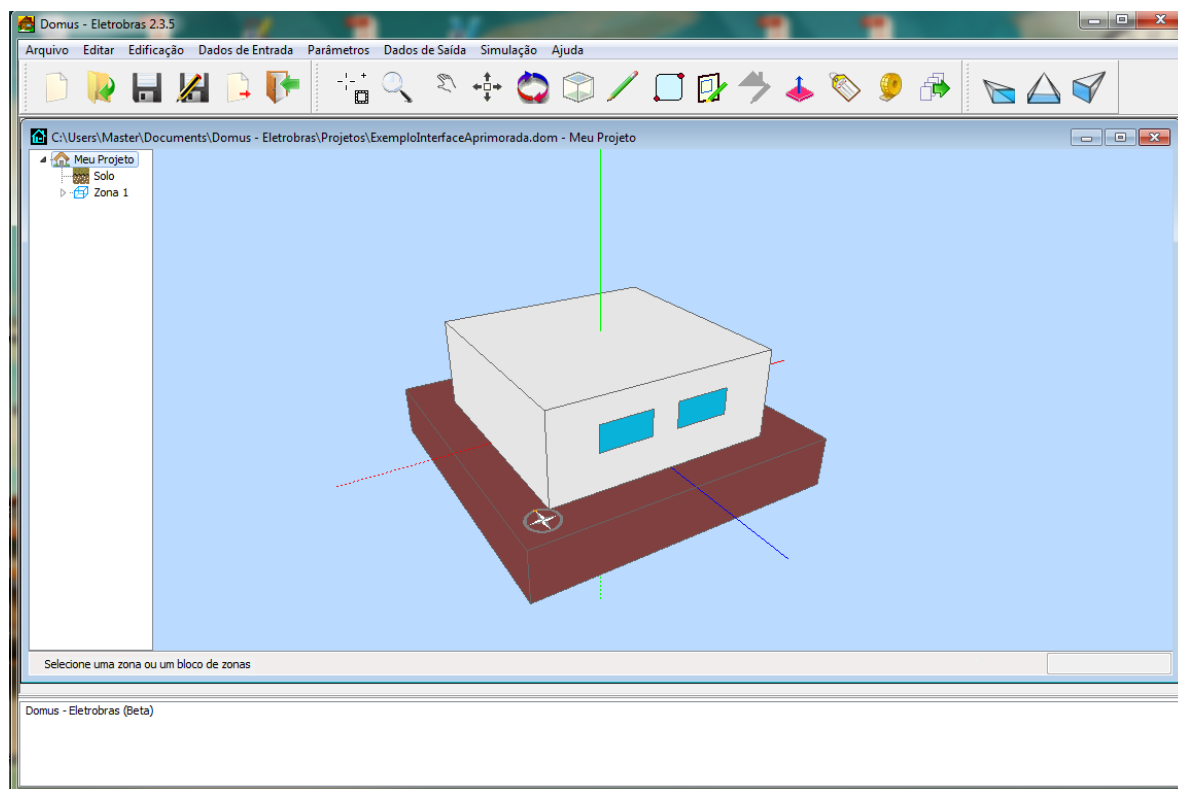
2.2 DOMUS-PROCEL EDIFICA

O software DOMUS utilizado neste trabalho, foi aperfeiçoado em uma parceria entre a Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR) e a Eletrobrás, tornando-se um programa apto para a emissão de etiqueta de eficiência energética para edificações. Ele contém o método de simulação e também o prescritivo. Seu modelo é baseado em uma formulação física dirigida para o cálculo da temperatura e da umidade do ar ambiente (CARVALHO, 2013).

Seu *download* é disponível gratuitamente no endereço eletrônico "<http://domus.pucpr.br>", sendo necessário fazer um cadastro com endereço de *e-mail*, nesta página da *web* também é disponível o tutorial do DOMUS e arquivos climáticos de 411 cidades brasileiras.

Alguns dos benefícios do programa Domus são a análise de estratégias distintas para redução de consumo de energia, a avaliação de custo a partir de inclusão de arquivos de saída e obtenção da ENCE em concordância com RTQ-C. O *software* permite execução de simulação e teste de parâmetros tais como o conforto térmico e o consumo de energia.

A interface do programa computacional apresentada na Figura 6 é de fácil usabilidade. Pode-se observar pela figura as ferramentas para a criação e edição de edificações, as possibilidades de fornecer dados de entrada, parâmetros de entrada, dados de saída e a execução de simulação.

Figura 6 - Interface DOMUS- PROCEL EDIFICA

Fonte: *Print screen software DOMUS (2017)*

Após o desenho da edificação, o dimensionamento e a composição das paredes devem ser especificados (Figura 7). Este é um passo essencial para a geração da classificação do envoltório da construção.

Figura 7 - Interface elementos construtivos

The screenshot shows a software window titled "Elem. Construtivos - Fachada da Zona 1". It contains a table for "Camadas dos Elementos" with the following data:

Material +externo	Refino de Malha	Espessura (cm)	Excluir
Reboco	5	2.0	<input type="checkbox"/>
Tijolo	10	15.0	<input type="checkbox"/>
Reboco	5	2.0	<input checked="" type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>

Below the table, there are two tabs: "Padrões Brasileiros" (selected) and "Modelos personalizados". A section for thermal properties includes the following values:

- Transmitância Térmica (W/m²K): 2.35
- Capacitância Térmica (kJ/m²K): 338.60
- Fator de Calor Solar (FCS): 4.7
- Absortividade Externa (Pintura): 0.50
- Emissividade Externa: 0.50
- Absortividade Interna (Pintura): 0.50
- Emissividade Interna: 0.50

Buttons labeled "Tabela" are present next to the external absorptivity and emissivity fields. At the bottom, there is an "Orientação com o norte" field set to 270.00, and application options: "Aplicar a" (todas as fachadas), "nesta direção", and "desta zona".

Fonte: *Print screen software DOMUS, 2017.*

2.3 WEBPRESCRITIVO

O Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina - LABEEE, está desenvolvendo uma ferramenta de avaliação de eficiência energética de edificações comerciais, públicos e de serviço, chamada de *WebPrescritivo*. Uma versão prévia está disponível no link "<http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/webprescritivo/index.html>".

A interface onde devem ser fornecidos os dados para obtenção da etiqueta parcial do envoltório é mostrada na Figura 8, onde seu sistema é simples e de fácil visualização.

Figura 8 - Interface WebPrescritivo, entrada dados da envoltória

Envoltória

Localização

Zona Bioclimática ZB 1 Cidade Água Branca AL

Pré-requisitos

U_{COB-AC} W/(m²K) α_{COB} 0 %

U_{COB-ANC} W/(m²K) CT_{PAR} 0 kJ/(m²K)

U_{PAR} W/(m²K) α_{PAR} 0 %

PAZ % FS

Dados Dimensionais da Edificação

A_{TOT} m²

A_{PCOB} m²

A_{PE} m²

V_{TOT} m³

A_{ENV} m²

Características das Aberturas

FS


PAF_T %

PAF_O %

AVS °

AHS °

Calcular Eficiência Limpar



Fonte: *Print screen WebPrescritivo (2017)*

Esta ferramenta permite o cálculo das ENCE parciais, da envoltória, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar, sendo elas calculadas separadamente. Após o cálculo das etiquetas parciais a ENCE geral da edificação pode ser gerada.

3 ESTUDOS DO CASO

A edificação em estudo foi a Biblioteca da Universidade Tecnológica Federal do Paraná do Campus de Ponta Grossa, localizada na região Sul do Brasil, no estado do Paraná,

A biblioteca possui dois pavimentos com sete ambientes: três banheiros femininos e três masculinos (banheiro coletivo, banheiro individual para cadeirantes e banheiro individual para servidor) e uma área de circulação.

A área de circulação é diferente para os pisos. No primeiro piso ela inclui o acervo de livros, atendimento, laboratório de informática, *hall* de entrada, área dos servidores e área de estudo. No segundo piso está incluso a área de estudo, salas de estudo em grupo e uma área de serviço dos servidores.

As diferentes atividades exercidas nas áreas de circulação são consideradas como um ambiente por não possuírem divisões até o teto, com fechamento por porta/janelas. A área da Biblioteca é superior a 500m², sendo sua estrutura de concreto armado. As paredes exteriores têm acabamento de chapisco e granito de 30mm de espessura. Os vidros tem espessura de 3mm com fechamentos transparentes e a cobertura foi confeccionada em estrutura metálica com tratamento antiferruginoso apoiada na laje impermeabilizada e com telhas de fibrocimento.

Para a classificação parcial da envoltória e do sistema de iluminação, necessitaram-se obter alguns dados das características da edificação como as orientações das fachadas apresentadas na Figura 9, número de lâmpadas e posição das mesmas, e também, a verificação da divisão do circuito de iluminação.

Na edificação, o circuito do sistema de iluminação tem interruptores (dispositivos de controle manual) com acionamento independente da iluminação interna do ambiente. Possui contribuição de luz natural e as fileiras de luminárias paralelas às janelas e portas têm interruptor independente das demais fileiras de luminárias.

Figura 9 - Fachadas Biblioteca UTFPR-PG: (a) Fase norte, (b) Fase leste, (c) Fase sul, (d) Fase oeste.



(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: Autoria própria.

Depois do levantamento dos dados físicos (ANEXO A, B, C e D), iniciou-se a fase do desenvolvimento da classificação de eficiência energética da edificação. Nesta fase buscaram-se valores junto a fornecedores e servidores da edificação. Os cálculos realizados com os dados coletados seguiram prescrições normativas.

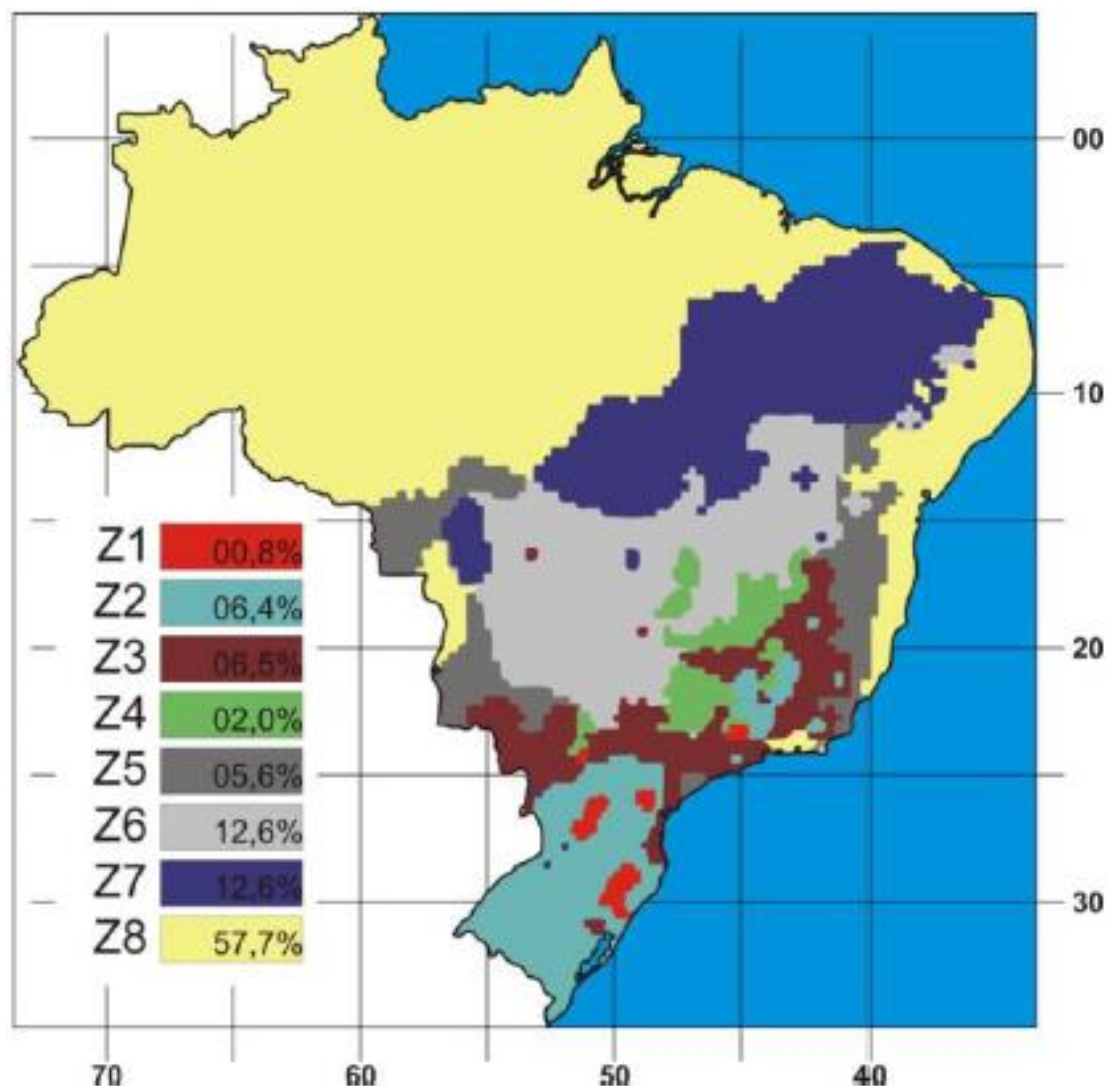
4 APLICAÇÃO DO MÉTODO PRESCRITIVO

Este capítulo apresenta o desenvolvimento do método prescritivo de classificação do nível de eficiência energética, seus pré-requisitos específicos e equacionamentos. Os dados obtidos a partir dos levantamentos descritos no item 3, foram responsáveis pela geração das classificações parciais e geral da edificação da Biblioteca UTFPR-PG.

4.1 ENVOLTÓRIA

Para obterem-se táticas de conforto térmico em edificação, a classificação da zona bioclimática onde a edificação está situada é obrigatória. O caso de estudo está classificado na Zona 2, a qual é estabelecida pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005c). O zoneamento é composto por oito zonas, as quais são apresentadas na Figura 10, retirada da NBR15220-3:

Figura 10 - Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: ABNT: NBR 15220 (2003)

A classificação das zonas é de Z1 a Z8, de temperaturas mais frias para mais quentes. Dentro das zonas classificadas encontram-se 330 cidades disponíveis no RTQ-C.

4.1.1 Transmitância Térmica

Como descrito anteriormente, cada condicionamento tem sua transmitância avaliada separadamente. O limite de transmitância térmica da cobertura e das paredes externas para ambientes com condicionamento artificial e não condicionado, segundo a zona bioclimática, está descrito na Tabela 4:

Tabela 4 - Limite de transmitância térmica da cobertura para ambientes com condicionamento artificial e não condicionado e máxima transmitância térmica de paredes externas segundo a zona bioclimática

Nível	Zona Bioclimática	Condicionamento artificial		Não condicionado	
		Cobertura	Parede	Cobertura	Parede
A	1 e 2	0,50 W/m ² K	1,00 W/m ² K	1,00 W/m ² K	1,00 W/m ² K
	3 a 6	1,00 W/m ² K	3,70 W/m ² K	2,00 W/m ² K	3,70 W/m ² K
	7 a 8	1,00 W/m ² K	2,50 W/m ² K * 3,70 W/m ² K **	2,00 W/m ² K	2,50 W/m ² K * 3,70 W/m ² K **
B	1 e 2	1,00 W/m ² K	2,00 W/m ² K	1,50 W/m ² K	2,00 W/m ² K
	3 a 6	1,50 W/m ² K	3,70 W/m ² K	2,00 W/m ² K	3,70 W/m ² K
	7 a 8	1,50 W/m ² K	2,50 W/m ² K * 3,70 W/m ² K **	2,00 W/m ² K	2,50 W/m ² K * 3,70 W/m ² K **
C e D	1 e 2	2,00 W/m ² K	3,70 W/m ² K	2,00 W/m ² K	3,70 W/m ² K
	3 a 6				
	7 a 8		2,50 W/m ² K * 3,70 W/m ² K **		2,50 W/m ² K * 3,70 W/m ² K **
E	1 a 8	>2,00 W/m ² K	>3,70 W/m ² K	>2,00 W/m ² K	>3,70 W/m ² K

Fonte: Adaptado de RTQ-C 2013.

* Capacidade térmica máxima da parede 80 kJ/m²K

** Capacidade térmica da parede superior a 80 kJ/m²K

4.1.2 Cores e Absortância de Superfícies

Para as Zonas Bioclimáticas de 2 a 8, a absortância (α) máxima é de 0,50, exceto nos casos de coberturas de teto-jardim ou telhas cerâmicas não esmaltadas.

A Zona Bioclimática 1 não entra neste requisito por ser a zona mais fria, permitindo absorvência mais elevadas para ganho térmico por radiação no inverno.

4.1.3 Iluminação Zenital

A redução do consumo de energia elétrica ocorre com a alocação de aberturas zenitais que permitem a entrada de luz natural nos ambientes internos. Os limites de fator solar (*FS*) de vidros e de percentual de abertura zenital (*PAZ*) para coberturas estão descritos na Tabela 5:

Tabela 5 - Limites de fator solar de vidros e de percentual de abertura zenital para coberturas

<i>PAZ</i>	0 a 2%	2,1 a 3%	3,1 a 4%	4,1 a 5%
<i>FS</i>	0,87	0,67	0,52	0,3

Fonte: RTQ-C (2013)

Para obtenção do nível A, em edificações com *PAZ* maior que 5% o método de simulação é obrigatório. Na edificação estudada não se tem abertura zenital, e neste caso, o fator solar é 0,87.

4.1.4 Procedimentos para Determinação da Eficiência

Adotando os pré-requisitos descritos anteriormente, sabe-se que a classificação máxima da biblioteca para envoltória será de Nível C. A Tabela 6 apresenta os itens e valores conforme o zoneamento do caso de estudo Z2:

Tabela 6 - Pré-requisitos específicos da envoltória para zona bioclimática 2 (Z2)

Pré-requisitos	Nível				
	A	B	C	D	E
Transmitância térmica da cobertura e paredes exteriores	1,00 W/m ² K	1,50 W/m ² K e 2,00W/m ² K	2,00 W/m ² K e 3,7W/m ² K	2,00 W/m ² K e 3,7W/m ² K	>2,00 W/m ² K e 3,7W/m ² K
Coeficiente de absorvência de superfície	$\alpha \leq 0,5$	$\alpha \leq 0,5$	Não	Não	Não
Iluminação Zenital	Sim	Sim	Não	Não	Não

Fonte: Adaptado de RTQ-C (2013)

Com a definição de ENCE limite obtido, os dados para os cálculos das transmitâncias foram obtidos (Tabela 7).

Tabela 7 - Índices tabelados para cálculo de transmitâncias

Material	Massa específica (kg/m ³)	Condutividade térmica (w/(m.k))	Calor específico (kJ/(kg.K))
Reboco	1950	1,15	1,00
Tijolo	1450	0,90	0,92
Arenito	2150	2,90	0,74
Cerâmica	290	1,05	1,34
Telha fibrocimento	1700	0,65	0,84
Laje/concreto	2300	1,75	1,00

Fonte: Adaptado de NBR1220 (2003)

Determinaram-se os valores de transmitância térmica, da cobertura (U_{cob}) de 1,93 W/m²K, para a transmitância da parede (U_{par}) seu valor é encontrado por ponderação devido à edificação possuir diferentes estruturas de parede (Tabela 8). As composições dos quatro tipos de parede da edificação são:

- Parede 1 – reboco + tijolo + reboco;
- Parede 2 – granito + reboco + tijolo + reboco;
- Parede 3 – granito + reboco + tijolo + reboco + cerâmica;

- Parede 4 – Reboco + tijolo + reboco + tijolo + reboco.

Tabela 8 - Transmitância da parede (Biblioteca UTFPR-PG)

Parede	Área (m ²)	Transmitância (W/m ² K)	Ponderação de área	Transmitância Final (W/m ² K)
1	692,72	2,51	0,53	2,4
2	297,13	2,52	0,23	
3	147,13	2,49	0,11	
4	176,33	1,71	0,13	

Fonte: Autoria própria

Em relação à absorptância da cobertura, o índice é de 0,97, enquanto a da parede é de 0,73, como mostrado na Tabela 9. A edificação apresenta duas cores de fachada: uma em granito (considerado cor vermelha) e a outra de concreto aparente, denominadas de A e B, respectivamente.

Tabela 9 - Absortância da parede (Biblioteca UTFPR-PG)

Parede	Área(m ²)	Absortância	Ponderação de área	Absortância Final
A	869,06	0,73	0,66	0,73
B	444,26	0,74	0,34	

Fonte: Autoria própria

O indicador de consumo (*IC*) visa avaliar o desempenho do envoltório em relação ao consumo de energia. Quanto maior o *IC*, mais troca térmica ocorrerá entre o envoltório e o ambiente. São encontradas diferentes equações de indicador de consumo devido às diversas condições climáticas encontradas no Brasil.

Para calcular o indicador de consumo do envoltório (*IC_{env}*), necessita-se encontrar alguns valores primeiramente. Um deles é o fator de forma (*FF*), dado pela Equação (1):

$$FF = \frac{A_{env}}{V_{tot}} = \frac{1959,34}{7397,04} = 0,26 \quad (1)$$

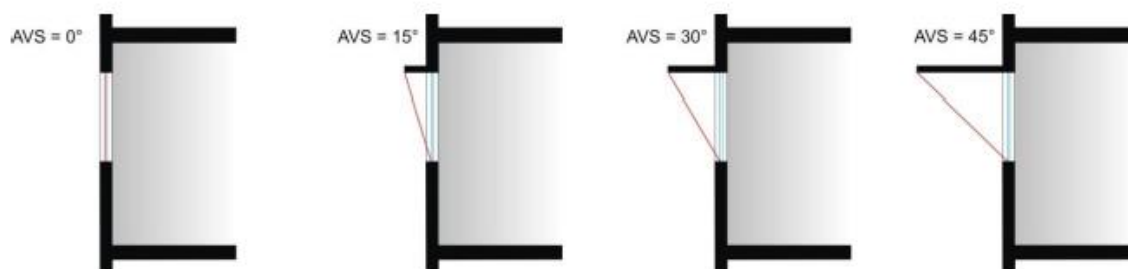
O fator de forma é um índice representativo das proporções do edifício (RTQ-C, 2013). Sabendo-se que a edificação estudada é maior que 500 m² e que o fator de forma é superior á 0,15, seleciona-se a equação *IC_{env}* que condiz com essas condições (Equação 2).

$$IC_{env} = -14,14.FA - 113,94.FF + 50,82.PAF_T + 4,86.FS - 0,32.AVS + 0,26AHS - \frac{35,75}{FF} - 0,54.PAF_T.AHS + 277,98 \quad (2)$$

Onde FF , representa o fator de forma, FA , o fator de altura, PAF_T , o percentual de abertura na fachada total (para uso na equação, adimensional), FS , o fator solar, AVS , o ângulo vertical de sombreamento e o AHS , o ângulo horizontal de sombreamento.

Os ângulos de abertura formados por dois planos, sendo um o plano vertical na base do material translucido ou vidro, e o outro, o ponto mais distante da proteção solar horizontal até a folha da base, forma o AVS . Exemplos desses ângulos são descritos na Figura 11. No caso da edificação estudada, o valor do AVS foi de $12,44^\circ$.

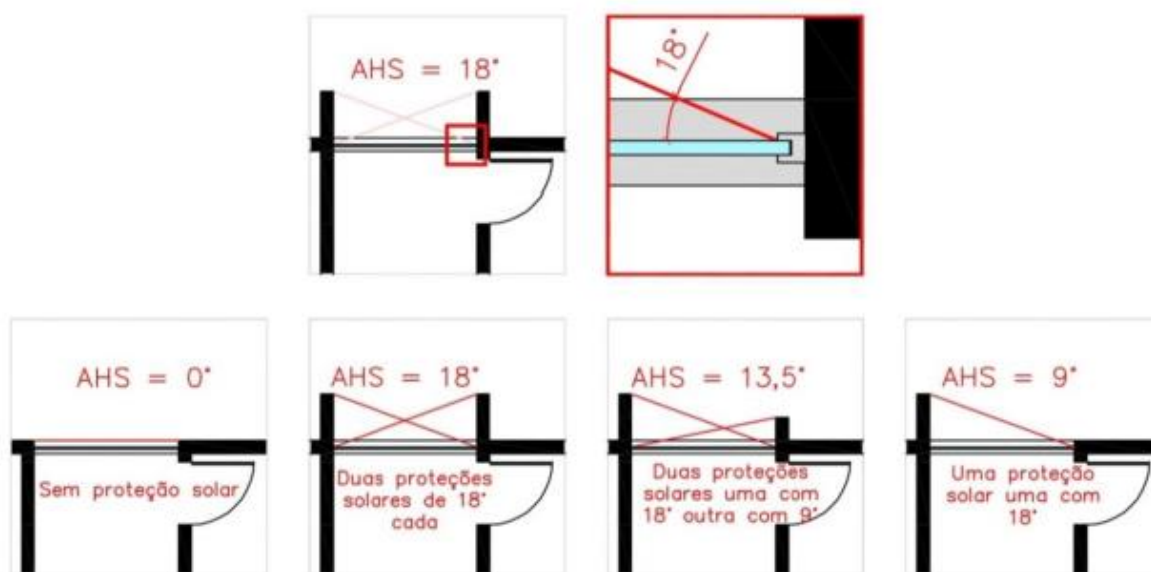
Figura 11 - Exemplos de ângulo vertical de sombreamento



Fonte: RTQ-C (2013)

O sombreamento por ângulo horizontal (AHS) é formado por dois planos verticais. Sua configuração é semelhante ao AVS como observado na Figura 12. O índice para a Biblioteca da UTFPR-PG foi de $3,97^\circ$.

Figura 12 - Ângulos horizontais de sombreamento



Fonte: RTQ-C, 2013.

O fator de altura (FA) é razão entre a área de projeção da cobertura ($A_{p\text{cob}}$) e a área total construída (A_{tot}), não considerando subsolos. Para o caso estudado, o FA foi de 0,49.

Em relação ao percentual de área de abertura na fachada total (PAF_T), este é calculado pela razão entre a soma das áreas de abertura envidraçada, ou com fechamento transparente ou translúcido de cada fachada, e a área total de fachada da edificação. Este índice é válido para aberturas em paredes verticais que tenham inclinação superior a 60° em relação ao plano horizontal, porém, deve-se calcular o percentual de área de abertura na fachada oeste (PAF_o). Caso o PAF_o seja maior que 20% do PAF_T , o valor do PAF_o é adotado como PAF_T . Os valores de percentual de área de abertura na fachada da edificação do estudo são indicados na Tabela 10.

Tabela 10 - Percentual de área de abertura

Índice	Percentual de área de abertura na fachada		
	PAF_o	PAF_T	PAF_T Final
%	39	30	39

Fonte: Autoria própria

Com os índices necessários para cálculo da Equação (2) obtidos, calculou-se um IC_{env} de 127,03. Com o valor IC_{env} encontrou-se o limite máximo do indicador de consumo (IC_{maxD}) e os limite mínimo do indicador de consumo (IC_{minD}). Estes

limites foram encontrados com a aplicação da equação 2, utilizando-se das substituições de valores indicada na Tabela 11.

Tabela 11 - Substituição de valores para IC_{máxD} e IC_{mínD}

	<i>PAF_T</i>	<i>FS</i>	<i>AVS</i>	<i>AHS</i>
<i>IC_{maxD}</i>	0,60	0,61	0	0
<i>IC_{minD}</i>	0,05	0,87	0	0

Fonte: Autoria própria

Para encontrar-se limites de intervalo dos níveis de eficiência, utilizam-se as fórmulas demonstradas na Tabela 12. A Equação (3) é referente ao índice de incremento (*i*).

$$i = (|IC_{maxD} - IC_{minD}|)/4 \quad (3)$$

Tabela 12 - Limites de intervalo dos níveis de eficiência

Nível	Limite Mínimo	Limite Máximo
A	-	IC _{máxD} - 3i
B	IC _{máxD} - 3i + 0,01	IC _{máxD} - 2i
C	IC _{máxD} - 2i + 0,01	IC _{máxD} - i
D	IC _{máxD} - i + 0,01	IC _{máxD}
E	IC _{máxD} + 0,01	-

Fonte: RTQ-C (2013)

Os valores limites do indicador de consumo da Biblioteca UTFPR-PG estão indicados na Tabela 13. A classificação do nível de eficiência energética da envoltória é obtida através da comparação dos indicadores de consumo do envoltório com seus valores limites levando em consideração os pré-requisitos.

Tabela 13 - Valores limites do Indicador de Consumo da Biblioteca da UTFPR-PG

Eficiência	Nível				
	A	B	C	D	E
Limite Mínimo	-	119,33	126,00	132,67	139,34
Limite Máximo	119,32	125,99	132,66	139,33	-

Fonte: Autoria própria

Comparando o *IC_{env}* de 127,03 e os pré-requisitos, conclui-se que a edificação da Biblioteca da UTFPR-PG tem classificação de nível C.

4.2 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

Os sistemas de iluminação artificiais são necessários para manter os ambientes iluminados por períodos distintos, nos horários em que a luz natural não é favorável à iluminação adequada para uso do ambiente. A norma NBR 5413 é responsável pela definição da iluminação mínima em ambientes distintos.

Um sistema de iluminação eficiente fornece níveis adequados de iluminação para cada tarefa, consumindo o mínimo de energia. Aplicam-se os pré-requisitos específicos para atender os níveis de classificação conforme descritos na Tabela 3.

4.2.1 Divisão dos Circuitos

Este pré-requisito define que cada ambiente deve ter ao menos um dispositivo de acionamento manual, para controle independente da iluminação interna. Sendo a área máxima com um controle independente em relação a área total do ambiente encontrados na Tabela 14. O edifício em estudo cumpre o pré-requisito de divisão dos circuitos.

Tabela 14 - Área ambiente x Área independente

Área total do piso do ambiente	Área máxima do piso da parcela iluminada por sistema com um controle independente
$\leq 1000 \text{ m}^2$	250 m^2
$> 1000 \text{ m}^2$	1000 m^2

Fonte: RTQ-C (2013)

4.2.2 Contribuição de Luz Natural

No projeto luminotécnico, as posições das luminárias são de extrema importância. As luminárias devem possuir um sistema de desligamento independente quando próximas às janelas, com o propósito de diminuir o uso de iluminação artificial, no caso, quando há luz natural.

Os ambientes com contribuição de luz natural da edificação estudada cumprem o pré-requisito, pois possuem interruptores distintos para as luminárias paralelas as janelas.

4.2.3 Desligamento Automático do Sistema de Iluminação

Com o intuito de economia de energia em ambientes que não estão em uso, são estipulados três métodos para desligamento da iluminação. Os sistemas são:

- Sistema automático de desligamento da iluminação com horário de acionamento pré-determinado;
- sensor de presença para desligamento da iluminação após 30 minutos da saída dos ocupantes do ambiente;
- sistema de alarme ou outro controle, indicando que o ambiente está desocupado por emissão sonora.

O nível de classificações A exige a aplicação de um desses métodos. A biblioteca não cumpre este pré-requisito, pois não possui esses sistemas instalados.

4.2.4 Procedimento de Determinação da Eficiência

Existem dois métodos para obtenção do limite de potência de iluminação interna, sendo eles o da área do edifício e das atividades do edifício. A escolha da metodologia deve ser feita pelas principais atividades desenvolvidas na edificação.

O método da área do edifício deve ser aplicado quando a edificação exerce no máximo três atividades principais, ou quando as atividades ocupam mais de 30% da área do edifício. Nos demais casos usa-se o método das atividades do edifício. O estudo da edificação da biblioteca foi feito com base no método da área do edifício.

As etapas descritas a seguir são realizadas pelo método da área do edifício. Após identificação da principal atividade do edifício, encontra-se a densidade de potência de iluminação (*DPIL*) para cada nível de eficiência através da Tabela 15.

Tabela 15 - Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPIL) para o nível de eficiência pretendido - Método da área da edificação

Função da edificação	Nível			
	A	B	C	D
	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m ²	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m ²	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m ²	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m ²
Academia	9,5	10,9	12,4	13,8
Armazém	7,1	8,2	9,2	10,3
Biblioteca	12,7	14,6	16,5	18,4
Bombeiros	7,6	8,7	9,9	11
Centro de Convenções	11,6	13,3	15,1	16,8
Cinema	8,9	10,2	11,6	12,9
Comércio	15,1	17,4	19,6	21,9
Correios	9,4	10,8	12,2	13,6
Venda e Locação de Veículos	8,8	10,1	11,4	12,8
Escola/Universidade	10,7	12,3	13,9	15,5
Escritório	9,7	11,2	12,6	14,1
Estádio de Esportes	8,4	9,7	10,9	12,2
Garagem - Ed. Garagem	2,7	3,1	3,5	3,9
Ginásio	10,8	12,4	14,0	15,7
Hospedagem, Dormitório	6,6	7,6	8,6	9,6
Hospital	13,0	15,0	16,9	18,9
Hotel	10,8	12,4	14,0	15,7
Igreja/Templo	11,3	13,0	14,7	16,4
Restaurante	9,6	11,0	12,5	13,9
Restaurante: Bar/Lazer	10,7	12,3	13,9	15,5
Restaurante: Fast-food	9,7	11,2	12,6	14,1
Museu	11,4	13,1	14,8	16,5
Oficina	12,9	14,8	16,8	18,7
Penitenciária	10,4	12,0	13,5	15,1
Posto de Saúde/Clínica	9,4	10,8	12,2	13,6
Posto Policial	10,3	11,8	13,4	14,9
Prefeitura - Inst. Gov.	9,9	11,4	12,9	14,4
Teatro	15,0	17,3	19,5	21,8
Transportes	8,3	9,5	10,8	12,0
Tribunal	11,3	13,0	14,7	16,4

Fonte: RTQ-C (2013)

Com a determinação da densidade de potência da iluminação limite (DPIL) da biblioteca através da figura acima, segue-se com a determinação da área iluminada,

neste caso 1069,38 m². A potência limite do edifício para cada nível de eficiência foi calculada pela multiplicação da área iluminada e a *DPIL*. Os valores encontrados são descritos na Tabela 16.

Tabela 16 - Potência limite da Biblioteca UTFPR-PG

	Nível				
	A	B	C	D	E
Potência Limite (kW)	13,58	15,61	17,64	19,68	19,68

Fonte: Autoria própria.

A determinação da densidade de potência de iluminação (*DPI*) é feita pela razão do somatório das potências das lâmpadas e reatores pela área do ambiente. Neste caso, a densidade de potência de iluminação foi de 20,40 W/m² e a potência total instalada foi de 21,82 kW. Para determinar o nível de eficiência deve-se comparar a potência total instalada na edificação e a densidade de potência de iluminação com seus valores limites, sendo que estes devem estar dentro dos parâmetros de pré-requisitos.

4.3 SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DO AR

O sistema de condicionamento de ar tem pré-requisitos apenas para o Nível A de classificação. Sendo assim, os edifícios que não se enquadram são classificados nos níveis B, C, D ou E. Os pré-requisitos são:

- Isolamento térmico para dutos de ar;
- Condicionamento de ar por aquecimento artificial.

4.3.1 Isolamento Térmico para Dutos de Ar

Para sistemas de aquecimento e refrigeração, a espessura mínima dos dutos é descrita na Tabela 17.

Tabela 17 - Espessura mínima das tubulações de aquecimento e refrigeração

Sistema de aquecimento							
Faixa de temperatura do fluido (°C)	Condutividade do isolamento		Diâmetro nominal da tubulação (mm)				
	Condutividade térmica (W/mK)	Temperatura de ensaio (°C)	<25	25 a <40	40 a <100	100 a <200	≥200
T ≥ 177	0,046 a 0,049	121	6,4	7,6	7,6	10,2	10,2
122 < T < 177	0,042 a 0,046	93	3,8	6,4	7,6	7,6	7,6
94 < T < 121	0,039 a 0,043	66	3,8	3,8	5,1	5,1	5,1
61 < T < 93	0,036 a 0,042	52	2,5	2,5	2,5	3,8	3,8
41 < T < 60	0,032 a 0,040	38	1,3	1,3	1,3	2,5	2,5
Sistemas de refrigeração							
4 < T < 16	0,032 a 0,040	24	1,5	1,5	2,5	2,5	2,5
T < 4	0,032 a 0,040	10	1,5	2,5	2,5	2,5	4,0

Fonte: RTQ-C (2013)

4.3.2 Condicionamento de Ar por Aquecimento Artificial

Nos casos onde ocorre o condicionamento de ar por aquecimento artificial, as avaliações para equipamentos distintos são realizados de formas diferentes:

Caso 1 - Sistema de bombas de calor: COP ≥ 3, definido pelo método AHRI 340/360.

Caso 2 – Sistema unitário de condicionamento de ar ciclo reverso: COP ≥ 3, também definido pelo método AHRI 340/360.

Caso 3 – Aquecedores de acumulação a gás: requisitos mínimos de eficiências indicados na Tabela 18, retirada do RTQ-C.

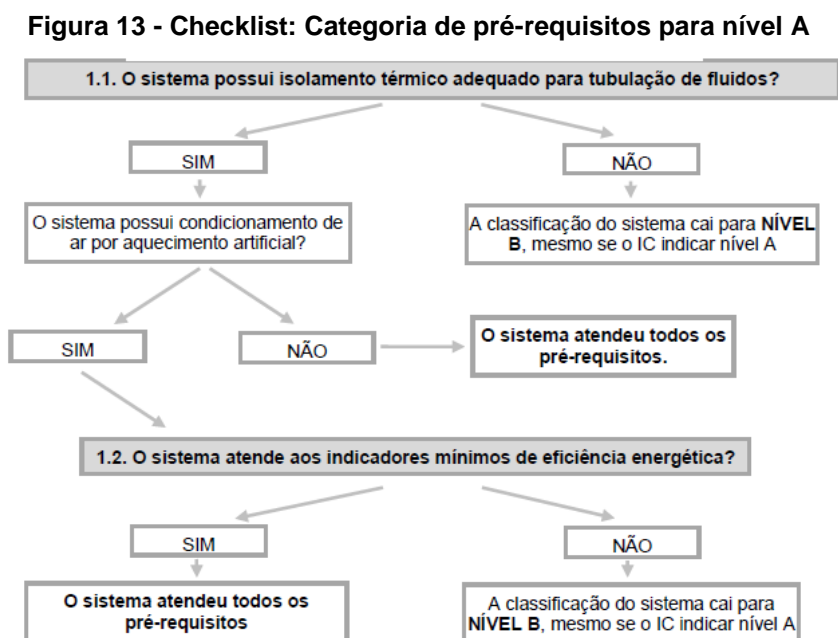
Tabela 18 - Eficiência mínima para aquecedores de acumulação de água a gás

Tipo de equipamento	Capacidade (kW)	Subcategoria	Eficiência mínima (W)	Procedimento de teste
Aquecedor de acumulação	≤ 22,98	≥ 75,5 (litros)	0,62 - 0,0019.V.EF	DOE 10 CFR Part 430
	> 22,98	< 309,75 W/l	0,8.Et(Q/800 + 100.(V ^{1/2})).SL	ANSI Z21.10.3

Fonte: RTQ-C (2013)

Onde, V é volume (litros); EF é fator energético; Et é a eficiência térmica; Q é a potência nominal de entrada e SL são as perdas em *stand by* (W), considerando uma diferença de temperatura de 38,9°C entre água quente acumulada e as condições térmicas do ambiente interno.

Para facilitar a conferência dos pré-requisitos específicos do sistema de condicionamento de ar, mostra-se da Figura 13 um fluxograma com *checklist* para as categorias do nível A.



Fonte: RTQ-C (2013)

4.3.3 Sistema de Condicionamento de Ar

São duas as opções de forma de avaliação dos sistemas de condicionamento de ar, onde se distinguem em avaliados pelo PBE/INMETRO ou não avaliados. Os avaliados pelo INMETRO são classificados pelo nível de desempenho que o mesmo atribuiu. Os demais são analisados pelo nível de eficiência fornecido pelo RTQ-C. Uma opção disponível é a classificação parcial, por ambiente.

Quando a carga térmica de pico do edifício for maior que 350 kW é obrigatório o uso de um sistema central de condicionamento, com exceção para comprovação de menor consumo com sistemas individuais. O cálculo de carga térmica deve ser realizado de acordo com normas e manuais de engenharia que tenham aceitação geral pelos profissionais da área, como a norma NBR 16401.

O controle de temperatura por zona deve ser realizado por termostato, sendo um termostato para cada zona. Para o controle, sistemas automáticos devem ser instalados com finalidade de desligar o condicionamento artificial, quando a edificação/ambientes não estão em uso.

Quando se tem mais de um sistema de condicionamento de ar na edificação, devem-se classificar os ambientes por cada sistema encontrando seus equivalentes numéricos, os quais devem ser ponderados pela capacidade de seus sistemas, obtendo assim um equivalente numérico final.

Edificações onde não se tem sistema de condicionamento de ar, caso da biblioteca em estudo, deve-se realizar simulação para obtenção do percentual de horas ocupadas em conforto (*POC*).

4.4 CLASSIFICAÇÃO GERAL

Para realizar a ENCE geral é necessário obter as classificações parciais do envoltório, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar. No caso de ventilação natural, o número representativo de conforto dos ambientes não condicionados artificialmente (*EqNumV*) deve ser apresentado. Os valores dos equivalentes numéricos da edificação Biblioteca UTFPR-PG são apresentados na Tabela 19:

Tabela 19 - Equivalente numérico do caso estudado (Biblioteca UTFPR-PG)

	Nível	Classificação Final
<i>EqNumEnv</i>	3	C
<i>EqNumV</i>	5	A
<i>EqNumDPI</i>	1	E
<i>EqNumAC</i>	-	-

Fonte: Autoria própria

O cálculo da classificação geral é realizado através da Equação 4. Neste estudo, nenhuma bonificação foi obtida.

$$PT = 0,30 \left\{ \left(EqNumEnv \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} 5 + \frac{ANC}{AU} EqNumV \right) \right\} + 0,30 (EqNumDPI) + 0,40 \left\{ \left(EqNumCA \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} 5 + \frac{ANC}{AU} EqNumV \right) \right\} + b_0^1 \quad (4)$$

onde:

EqNumEnv : equivalente numérico da envoltória;

EqNumDPI: equivalente numérico do sistema de iluminação;

EqNumCA: equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar;

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

AC: área útil dos ambientes condicionados;

AU: área útil;

APT: área útil dos ambientes transitórios, desde que não condicionados;

ANC: área útil dos ambientes não condicionados, desde que com comprovação de conforto térmico;

b: pontuação obtida pelas bonificações.

Obtiveram-se os valores de áreas através do método prescritivo (Tabela 20), e conseqüentemente, o índice de *PT* encontrado foi de 3,71. O nível de eficiência conforme valor de *PT* encontra-se na Figura 2.

Tabela 20 - Áreas calculadas pelo método prescritivo.

Índice	Valores de áreas (m²)
<i>AC</i>	0,00
<i>ANC</i>	751,73
<i>AENV</i>	1959,35
<i>APT</i>	317,65
<i>Apcob</i>	646,03
<i>Ape</i>	646,03
<i>AU</i>	1095,83
<i>Atot</i>	1313,32

Fonte: Autoria própria.

5 APLICAÇÃO DO WEBPRESCRITIVO

Para uso da ferramenta *WebPrescritivo*, necessitam-se de alguns valores calculados pelo método prescritivo. Estes valores estão apresentados na Tabela 21,

Tabela 21 - Parâmetros de entrada.

Parâmetros de entrada	Valor	Unidade de medida
U_{COB-AC}	0,00	W/m ² K
$U_{COB-ANC}$	1,93	W/m ² K
U_{PAR}	2,40	W/m ² K
PAZ	0,00	%
α_{COB}	97,00	%
α_{PAR}	73,30	%
A_{TOT}	1313,32	m ²
A_{PCOB}	646,03	m ²
A_{PE}	646,03	m ²
V_{TOT}	7397,04	m ³
A_{ENV}	1959,34	m ²
FS	0,87	-
PAF_T	30,00	%
PAF_O	39,00	%
AVS	12,44	°
AHS	3,97	°
Potência	21816,00	W
Área iluminada	1069,38	m ²
AU	1095,83	m ²
AC	0,00	m ²
$EqNumV$	5,00	-

Fonte: Autoria própria

Os pré-requisitos devem ser selecionados no programa. Após seleção e fornecimento de dados para cada parâmetro avaliado, pode-se gerar o relatório parcial de envoltória, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar. A análise da envoltória forneceu classificação de Nível C enquanto a do sistema de iluminação Nível E para a edificação em estudo.

Para gerar a etiqueta geral por essa ferramenta, deve-se fornecer as bonificações (se existentes), área de permanência transitória (*APT*) e o equivalente

numérico de ambientes não condicionados e/ou ventilados naturalmente. Só consegue-se gerar o ENCE geral após obtenção dos ENCE parciais.

6 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE SIMULAÇÃO

O método de simulação para a classificação do nível de eficiência energética pode utilizar combinações com o método prescritivo conforme indicado na Tabela 1. Os pré-requisitos para aplicações deste método são relacionados ao programa de simulação e ao arquivo climático utilizado como especificados no item 2.1.2.

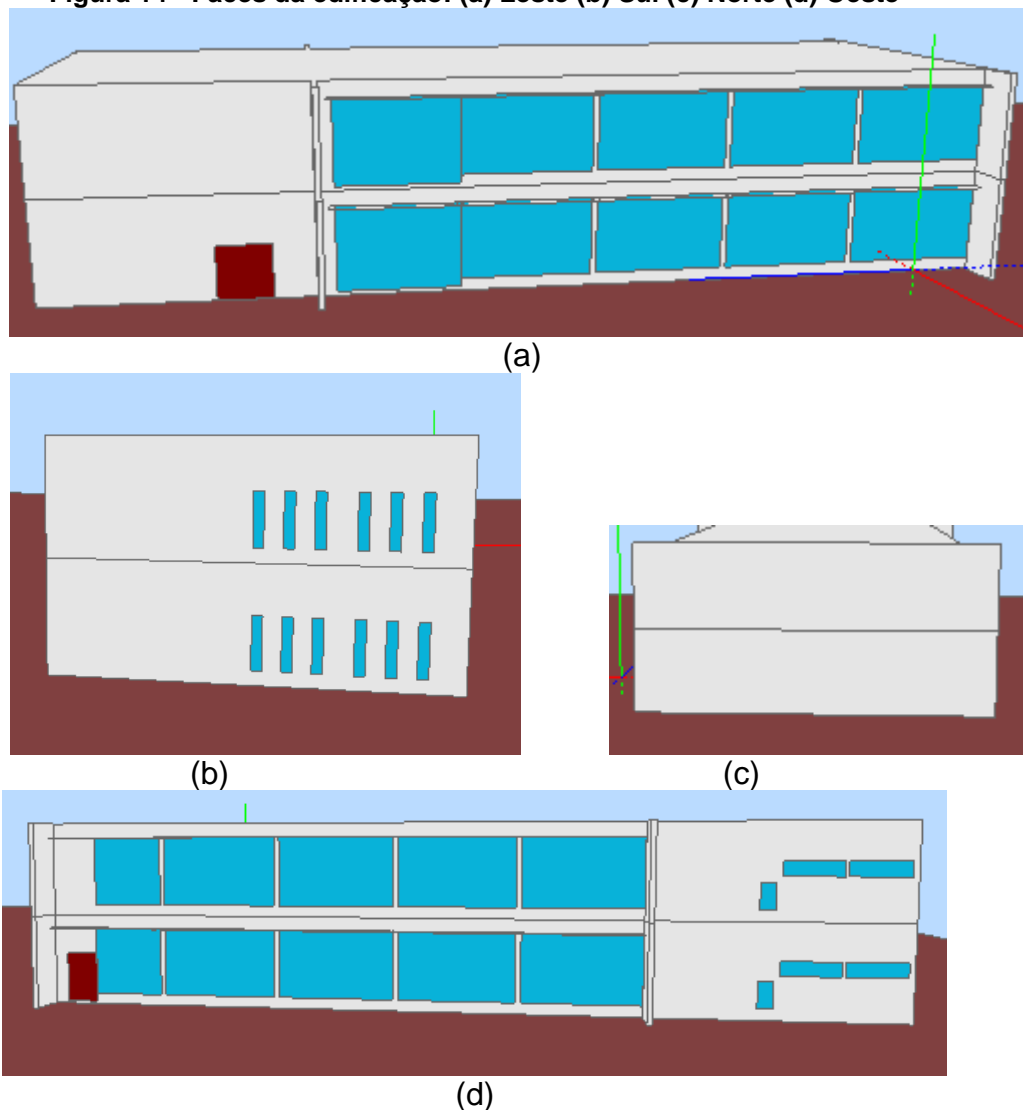
6.1 PROGRAMA DE SIMULAÇÃO

As características mínimas necessárias ao programa, para que este seja utilizado, estão descritas no RTQ-C. Ele deve ser aprovado pelo PROCEL. Neste caso, o programa utilizado é o DOMUS, descrito no item 2.2. O arquivo climático utilizado fornece todos os parâmetros necessários para a execução do programa, atendendo os pré-requisitos citados no item 2.1.2.

6.2 METODOLOGIA

Primeiramente, deve-se desenhar a edificação no programa, seguindo projeto/planta da edificação. O desenho da Biblioteca UTFPR-PG realizado no DOMUS está disposto nas Figura 14:

Figura 14 - Faces da edificação: (a) Leste (b) Sul (c) Norte (d) Oeste



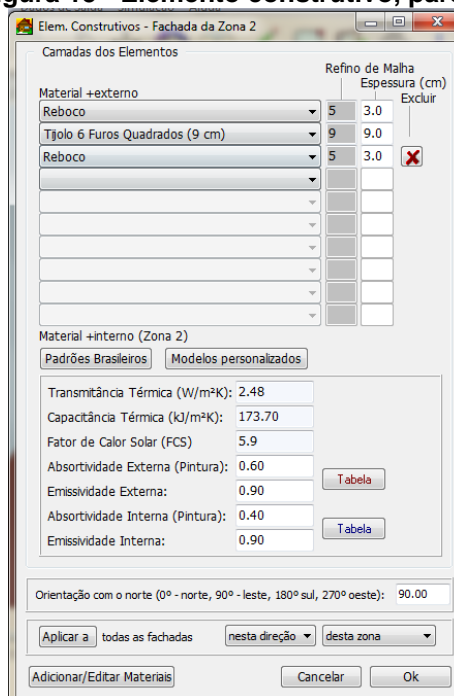
Fonte: *Print screen software DOMUS (2017)*

Na sequência, os dados de entrada devem ser inseridos. Para o cálculo da eficiência do envoltório deve-se definir a constituição das camadas das paredes já especificadas no item 4.1.4 e coberturas. A seleção da absorvância e emissividade das paredes internas e externas e cobertura é realizada nesta fase (Figura 15). A transmitância e capacidade térmica calculada pelo programa para a cobertura foi de $1,83 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $316,40 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ respectivamente, enquanto as transmitâncias das paredes foram:

- Parede 1 – $2,48 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Parede 2 – $2,54 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Parede 3 – $2,52 \text{ W/m}^2\text{K}$

- Parede 4 – 2,76 W/m²K

Figura 15 - Elemento construtivo, parede



Fonte: *Print screen software DOMUS (2017)*

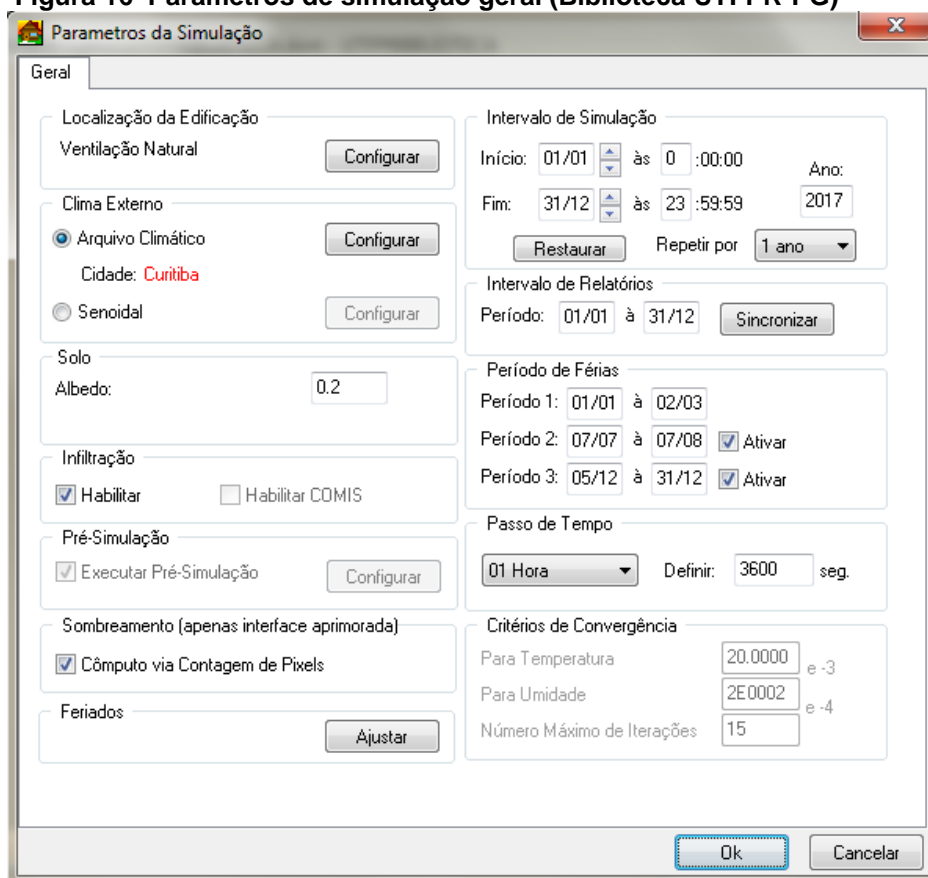
O valor encontrado para transmitância final da parede é de 2,28 W/m²K e sua capacidade térmica 144,82 kJ/m²K. As absortâncias finais para a parede e cobertura foram de 0,60.

Deve-se realizar antes de gerar a classificação parcial da envoltória, a configuração dos horários de abertura de janelas e portas, assim como sua porcentagem de abertura e materiais.

Nos dados de entrada, adicionam-se os ganhos internos de equipamento, geração de vapor, iluminação, pessoas e mobiliário. Na iluminação, a potência térmica deve ser inserida, onde o valor utilizado foi o encontrado pelo método prescritivo (20 W/m²).

O número médio de pessoas considerado que utilizam a biblioteca foi de 20 por zona, e nas férias, de 4 pessoas por zona, cada zona é referente a um dos pisos da edificação. A configuração de ganhos de entrada para climatização não teve inserção, devido à edificação não apresentar condicionamento artificial. Os parâmetros de simulação geral foram configurados conforme Figura 16.

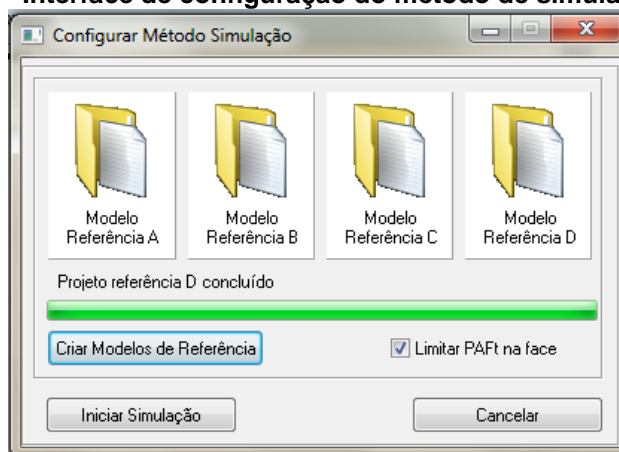
Figura 16 Parâmetros de simulação geral (Biblioteca UTFPR-PG)



Fonte: *Print screen software DOMUS (2017)*

Em "configurações", selecionam-se os dados pretendidos obter na simulação. Ao configurar o método de simulação, o programa gera automaticamente os quatro modelos de referência, sendo condicionados aos pré-requisitos necessários para seus respectivos níveis de eficiência. A interface de configuração do método de simulação é apresentada na Figura 17.

Figura 17 - Interface de configuração do método de simulação



Fonte: *Print screen software DOMUS (2017)*

Os requisitos que devem ser alterados nos modelos de referência em relação ao modelo real são apresentados na Tabela 22, sendo que no modelo de referência, deve-se considerar o nível de eficiência desejado para seleção de transmitância térmica e absorptância solar.

Tabela 22 - Síntese das características do modelo real e do modelo de referência

Característica da edificação	Modelo de Referência	Modelo real
Geometria – dimensões	Igual ao edifício proposto	Igual ao edifício proposto
Orientação	Igual ao edifício proposto	Igual ao edifício proposto
Carga interna (DCI)	Igual ao edifício proposto	Igual ao edifício proposto
Padrão de uso: Equipamentos e Pessoas	Igual ao edifício proposto	Igual ao edifício proposto
Sistema de condicionamento de ar	Igual ao edifício proposto com COP mín. do nível desejado	Igual ao edifício proposto
Envoltória PAZ PAF _T AVS e AHS Tipo de vidro FS Transmitância térmica Absortância solar	Se existe no real: 2% Calcular através do IC Zero Simples, 3mm 0,87 Máx. para eficiência desejada Máx. para eficiência desejada	Igual ao edifício proposto
Sistema de iluminação	DPI máx. para eficiência desejada - Tabela 4.1 ou 4.2 do RTQ-C	Igual ao edifício proposto

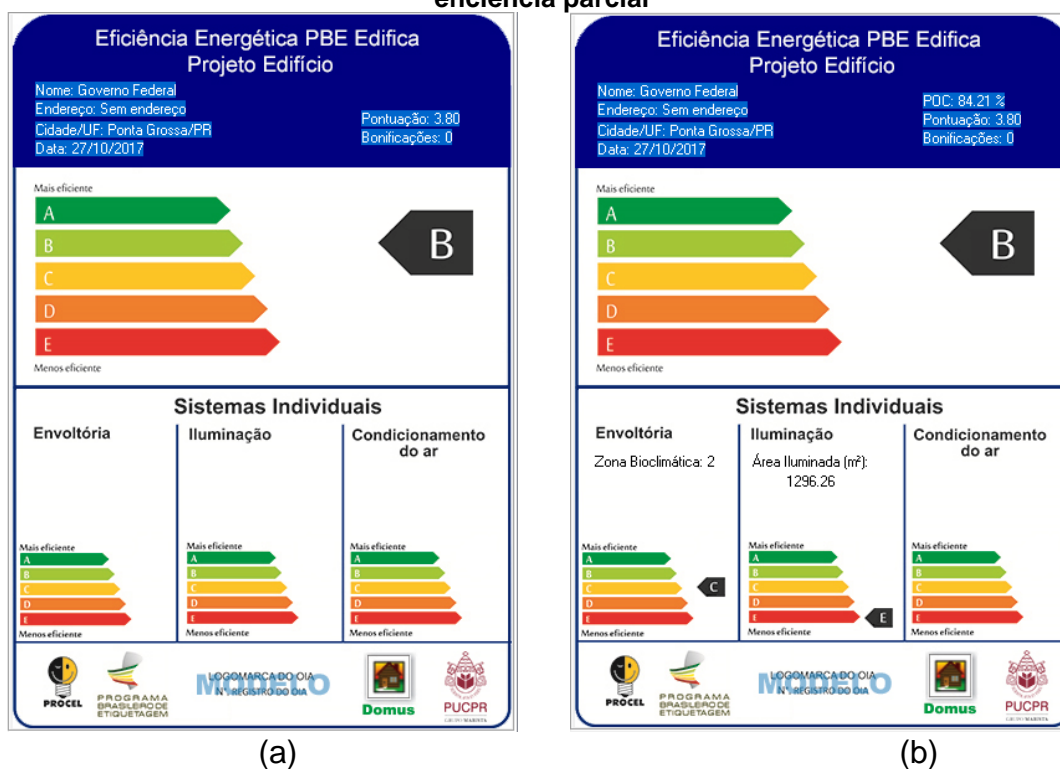
Fonte: RTQ-C (2013)

Para edificações com ambientes não condicionados ou/e ventilação natural, deve-se habilitar o cálculo do *POC*, realizado em configurações de RTQ-C. Esta seleção pode ser visualizada pela Figura 18. Devido à edificação em estudo não possuir ambientes condicionados, a habilitação do *POC* é obrigatória. A etiqueta geral gerada pelo programa no método de simulação para a Biblioteca da UTFPR-PG é mostrada na Figura 19.

Figura 18 Interface configuração RTQ-C (Biblioteca UTFPR-PG)

Fonte: Print screen software DOMUS (2017)

Figura 19 - Classificação geral método de simulação – (a) Direta, (b) Depois dos cálculos de eficiência parcial



Fonte: Print screen software DOMUS (2017)

A Figura 19a, apresenta a ENCE de classificação geral obtida pelo método de simulação da Biblioteca da UTFPR-PG, sem obtenção das ENCE parciais, os dados de identificação da etiqueta são inseridos conforme Figura 18. O valor de pontuação identificado na etiqueta é equivalente a *PT*, o ponto de bonificação também é

mostrados. Na Figura 19b a ENCE mostra as classificações parciais e final, ela apresenta além dos dados presentes na Figura 19a, o valor referente ao *POC* (percentual de horas ocupadas em conforto). A data apresentada na etiqueta é a de realização da simulação.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As classificações parciais e geral, pelos métodos de simulação e prescritivo, foram iguais. As classificações parciais do método prescritivo utilizando a ferramenta WebPrescritivo também coincidiram.

A classificação da envoltória foi de nível C. Esta é a classificação máxima que se poderia alcançar, devido aos pré-requisitos. A baixa classificação da envoltória deve-se a alguns fatores, tais como: a transmitância térmica relativamente alta da cobertura e paredes exteriores e pelo indicador de consumo que é influenciado pelo valor alto do fator solar. Isso ocorre devido aos vidros serem translúcidos e com espessura de 3 mm, com baixo valor de PAF_T . Mesmo melhorado os valores do indicador de consumo, deve-se fazer alterações relativas aos pré-requisitos para que haja aumento no nível de eficiência. As cores e absorbâncias de superfície devem ser iguais ou inferiores a 0,5 e aberturas zenitais são obrigatórias para classificação A e B.

Mesmo tendo o pré-requisito de divisão de circuitos e contribuição de luz natural, o sistema de iluminação obteve o nível de classificação E. A classificação máxima que poderia ser obtida segundo os pré-requisitos é a de nível B. A ENCE baixa ocorreu devido à alta densidade de potência de iluminação verificada na biblioteca.

Como a edificação não apresenta ambientes condicionados, a classificação para sistema de condicionamento de ar não é realizada, porém, deve-se comprovar que a biblioteca apresenta conforto térmico para seus ocupantes através do método de simulação. A classificação para conforto dos ambientes não condicionados foi de nível A. O POC foi de 84,21%, obtido através de simulação realizada no programa DOMUS – PROCEL EDIFICA. Neste caso, utilizou-se o equivalente numérico do conforto de ambientes não condicionados para cálculo de PT para no método prescritivo.

A classificação do ENCE geral é de nível B. O nível de classificação para o conforto dos ambientes não condicionados influenciou positivamente nessa classificação, pois a edificação mostrou índices de conforto térmico excelentes, mesmo sem um sistema de climatização. O baixo nível do sistema de iluminação em relação a sua alto consumo de energia, teve influencia na classificação geral, o

peso do sistema de iluminação na classificação geral é de 30%, porcentagem que faria diferença para uma classificação de nível A.

Para o método prescritivo, além da conferência pela simulação, também utilizou-se o *WebPrescritivo* para a análise de cálculos. Deste modo, encontrou-se o nível C para classificação do envoltório e nível E para a classificação do sistema de iluminação. O *WebPrescritivo* não oferece a classificação geral, pois ele não fornece a classificação parcial do sistema de condicionamento de ar.

8 CONCLUSÃO

A etiqueta nacional de conservação de energia (ENCE) geral para a edificação da biblioteca UTFPR-PG foi de nível B. Para as classificações parciais, o nível da envoltória foi de C e para o sistema de iluminação, E. Como a biblioteca não possui um sistema de climatização, este não pôde ser verificado. O índice para o conforto de ambientes não condicionados artificialmente é equivalente a uma eficiência de nível E.

Apresentaram-se dificuldades na execução tanto do método prescritivo quanto do de simulação, devido o projeto arquitetônico da edificação não ser detalhado e não possuir o projeto luminotécnico, sendo necessário estipular valores para alguns parâmetros.

A comparação dos resultados do método prescritivo e método de simulação mostram resultados semelhantes. Os índices aproximados (não iguais) devem-se ao fato do método de simulação não permitir a construção do edifício real e também não permitir que as camadas dos elementos de parede que se encontrem na mesma fachada e zona tenham constituição diferente.

O programa DOMUS PROCEL EDIFICA apresentou várias dificuldades no momento de elaborar o desenho da edificação, pois ele não permitia a inclusão de alguns parâmetros da edificação real. Deste modo, algumas dimensões de janelas, portas e proteções solares tiveram que ser aproximadas.

Para a obtenção de um ENCE geral com classificação de nível A, modificações no sistema de iluminação deveriam ser realizadas. Para isso, seria obrigatório instalar um sistema de desligamento automático da iluminação. Outra prática sugerida, seria a troca de todas as lâmpadas fluorescentes (40w) por LED equivalente (18W). Esta troca reduz a potência total e o *DPI*, elevando o nível de classificação da eficiência energética para A, e conseqüentemente, elevado também a classificação geral.

Na envoltória, o aumento do nível de classificação ocorre se obrigatoriamente a absorvância (α) máxima for 0,50. Neste caso, a edificação poderia ser pintada com uma cor clara, como por exemplo, a cor branca.

Alocar aberturas zenitais geraria um projeto trabalhoso e de alto custo, porém é necessário para um nível mais elevado. As alterações indicadas para classificação de nível B são relacionadas à transmitância térmica da parede a qual

poderia ser obtida através do uso de isolamento térmico. Neste caso, com base nos dados de simulação para a classificação A, o implemento nas paredes colocando EPS (Poliestireno Expandido) deveria ser de 1,7 cm de espessura para parede da face norte e 2,4 cm para as demais paredes.

A ferramenta *WebPrescritivo* apresentou-se como um auxiliador na conferência da realização do método prescritivo. A sua limitação encontra-se em não gerar a classificação geral da edificação, quando esta não tem ambientes condicionados.

Por fim, este estudo foi importante para a verificação da classificação da eficiência energética da biblioteca da UTFPR_PG, onde através dos procedimentos realizados observou-se que através de poucas mudanças no projeto, esta edificação poderia alcançar a ENCE geral de nível A.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro: Impresso no Brasil, 2003. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15215**: Iluminação Natural. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413**: Iluminância de interiores. Rio de Janeiro: Impresso no Brasil, 1992. 13 p.

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers. **Energy efficient design of new building except low-rise residential building – ASHRAE/IES 90.1-1989**. Illuminating Engineering Society of North America and American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, 1989.

BRASIL. **Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001**. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10295.htm>. Acesso em: 05 Nov. 2017.

BUILD UP. International Conference on Energy Efficiency in Historic Buildings: Experiences & Solutions. Disponível em: <<http://www.buildup.eu/en/events/international-conference-energy-efficiency-historic-buildings-experiences-solutions>>. Acesso em: 02 Out. 2017.

CARVALHO, Divani da Silva. **Análise do método prescritivo para certificação energética de edificações de grande porte.** Curitiba, PR: 2013. Originalmente apresentado como dissertação de mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2013.

CARLO, Joyce Correna. **Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais.** Florianópolis, SC: 2008. Originalmente apresentado como dissertação de doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

ELETROBRÁS, PROCEL – **Relatório de resultados de 2016 – ano base 2015.** Disponível em: <>LABEEE. **Laboratório de Eficiência Energética em Edificações** – Campus universitário Reitor Prof. Alexandre Marino Costa– Florianópolis – Santa Catarina – Brasil. Disponível em; <>. Acesso em: mar/16 – nov/16.

GUÍA DEL USUÁRIO: APLICATIVO NORMA IRAM 11900- Disponível em: <https://www.se.gob.ar/aplicativowebiram11900/documentos/Aplicativo_Web_IRAM_11900.pdf> Acesso em 01 Nov.2017.

HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DOMUS. Disponível em: <http://domus.pucpr.br/util/index.php?acao=pdf&arquivo=Historico_Domus.pdf>. Acesso em: 05 Nov. 2017.

INCROPERA, F.P.; DEWITT, D.P. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**, 6a edição, LTC – Livros técnicos e Científicos Editora S. A., R. J. 2008.

LONGO, Riolongo. **Análise comparativa das crises energéticas na Califórnia e no Brasil.** São Paulo, SP: 2003. Originalmente apresentado como dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, 2003.

NETO, Armando Shalders. **Regulamentação de desempenho térmico e energético de edificações.** São Paulo, SP: 2003. Originalmente apresentado como dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, 2003.

NETTO, Gabriela Reus; CZAJKOWSKI , Jorge Daniel. **Comparação entre normas de desempenho térmico de edificações da Argentina e do Brasil**. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212016000100105>.

Acesso em: 05 Out. 2017

OLIVEIRA, Raquel Diniz. **Classificação do desempenho térmico da envoltória de habitação popular em concreto armado**. Florianópolis, SC: 2015. Originalmente apresentado como tese de pós-graduação, Universidade Federal de Minas Gerais, 2015.

PARLAMENTO EUROPEU E CONSELHO. Diretriz para melhoria do rendimento econômico dos edifícios na Comunidade Européia. In: Jornal Oficial das Comunidades Europeias, 2002.

PBE Edifica – Programa Brasileiro de Etiquetagem [Brasil], 2016. Disponível em; <>.Jornal Oficial das Comunidades Europeias - DIRECTIVA 2002/91/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios.

RTQ-C. **Manual para aplicação do RTQ-C**. 3. ed. Florianópolis, SC, 2013.

RAC. **Manual para aplicação do RAC**. 1. ed. Florianópolis, SC, 2013.

RIO GRANDE DO SUL. Decreto nº 34.979, de 23 de novembro de 1993. Institui o Programa Estadual de Conservação de Energia nas Edificações e cria Conselho. LEGIS: Assembleia Legislativa do Estado do Rio Grande do Sul Sistema, Porto Alegre, 23 Nov. 1993. Disponível em: <http://www.al.rs.gov.br/legis/M010/M0100099.ASP?Hid_Tipo=TEXTO&Hid_TodasNormas=14036&hTexto=&Hid_IDNorma=14036>. Acesso em: 05 Out. 2017

STOERRING, Dagmara; HORL, Susanne. Eficiência energética. Disponível em: <http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/pt/displayFtu.html?ftuld=FTU_5.7.3.html>. Acesso em: 05 Out. 2017.

TABELA DE EQUIVALÊNCIA ENTRE LÂMPADA LED E LÂMPADA CONVENCIONAIS Disponível em: < <http://www.htlbrasil.com/Arquitetura/PDF/tabela-de-equivalencia-de-iluminacao-e-economia-de-energia-eletrica.pdf>>. Acesso em: 05 Nov. 2017

TAVARES, Carolina. **Proposta de regulamento de desempenho termo-energético de edificações para a cidade de João Pessoa:** Uma aplicação á estação ciência, cultura e artes. João Pessoa, PB: 2009. Originalmente apresentado como dissertação de mestrado, Universidade Federal da Paraíba, 2009.

TAVARES, Laura Resende. **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) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

TUTORIAL DOMUS. Disponível em: <<http://domus.pucpr.br/util/index.php?acao=pdf&arquivo=Domus-tutorial.pdf>>. Acesso em: 05 Nov. 2017.

WESTPHAL, Fernando Simon. **Vidros de Controle Solar:** Conforto Térmico e Eficiência Energética. Disponível em: <http://vidrosom.com.br/2016/palestras/Apresentacao_Fernando_Westphal.pdf>. Acesso em: 05 Nov. 2017.

GLOSSÁRIO

Absortância térmica: Quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície.

Capacidade térmica: Quantidade de calor necessário para variar em uma unidade a temperatura de um sistema.

Densidade de carga interna: É proporcionada pela ocupação da edificação e pelo uso de equipamentos de iluminação.

Densidade de potência de iluminação: Razão entre o somatório da potência de lâmpadas e reatores e a área de um ambiente.

Equivalente numérico: Número representativo da eficiência de um sistema.

Sistema de condicionamento de ar: Processo de tratamento de ar destinado a controlar simultaneamente a temperatura, a umidade, a pureza e distribuição de ar de um meio ambiente.

Transmitância térmica: Transmissão de calor em unidade de tempo e através de uma área unitária de um elemento ou componente, neste caso, de componentes opacos das fachadas (paredes externas) ou coberturas, incluindo as resistências superficiais interna e externa, induzida pela diferença de temperatura entre dois ambientes.

Zona de conforto: Zona onde existe satisfação psicofisiológica de um grupo de indivíduos com as condições térmicas do ambiente.

