

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Géssica Mara Rodrigues

**ANÁLISE DE METODOLOGIAS PARA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES PÚBLICAS**

Belo Horizonte
Dezembro, 2020

Géssica Mara Rodrigues

**ANÁLISE DE METODOLOGIAS PARA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES PÚBLICAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável (PPG-ACPS) da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito para obtenção do título de Mestre.

Área de concentração: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável

Linha de Pesquisa: Tecnologia

Orientador: Roberta Vieira Gonçalves de Souza

Belo Horizonte

Dezembro, 2020

FICHA CATALOGRÁFICA

R696a

Rodrigues, Géssica Mara.

Análise de metodologia para avaliação da eficiência energética de edificações públicas [manuscrito] / Géssica Mara Rodrigues. - 2020.

130f. : il.

Orientador: Roberta Vieira Gonçalves de Souza.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura.

1. Arquitetura e conservação de energia - Teses. 2. Energia elétrica - Consumo - Teses. 3. Edifícios públicos - Teses. 4. Avaliação - Técnica - Teses. 5. Desempenho - Teses. 6. Metodologia – Teses. I. Souza, Roberta Vieira Gonçalves de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Arquitetura. III. Título.

CDD 720.47



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AMBIENTE CONSTRUÍDO E PATRIMÔNIO SUSTENTÁVEL

FOLHA DE APROVAÇÃO

"ANÁLISE DE METODOLOGIAS PARA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES PÚBLICAS"

GÉSSICA MARA RODRIGUES

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, no dia **quatro de dezembro de dois mil e vinte**, pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Universidade Federal de Minas Gerais constituída pelos seguintes professores:

Profa. Dra. Anna Christina Miana

PUC - Minas

Profa. Dra. Ana Carolina de Oliveira Veloso

Centro Universitário UNA

Profa. Dra. Roberta Vieira Gonçalves de Souza - Orientadora

PPG-ACPS/UFMG

Belo Horizonte, 04 de dezembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Ana Carolina de Oliveira Veloso, Usuário Externo**, em 16/12/2020, às 13:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Roberta Vieira Goncalves de Souza, Servidor(a)**, em 04/01/2021, às 11:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Anna Christina Miana, Usuário Externo**, em 04/01/2021, às 15:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0458064** e o código CRC **71DF65F9**.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001.

AGRADECIMENTOS

À CAPES pela estímulo à aprendizagem e à pesquisa.

Ao PPG-ACPS pelo compromisso com a formação do mestrando e com o desenvolvimento da pesquisa.

À minha orientadora, Roberta Vieira Gonçalves de Souza, por compartilhar conhecimento de forma ímpar e tornar essa trajetória leve, sempre com alegria, comprometimento e interesse. Obrigada por me guiar no caminho acadêmico.

Aos membros da banca, Ana Carolina Veloso e Anna Christina Miana, pela disponibilidade e contribuição para o aperfeiçoamento deste trabalho.

Aos docentes do PPG-ACPS pelo conhecimento transmitido e por estarem sempre dispostos a contribuir.

Aos funcionários da UFMG que sempre me auxiliaram com carinho e presteza.

Aos companheiros de jornada que alegraram meus dias. Em especial Bárbara, Camila, Claudia, Helder, Karla, Larissa e Marina que sempre estiveram dispostos a ajudar e tornaram grandes amigos.

Aos meus pais, José Vicente e Izabel, por sempre me permitirem voar e tornarem a realização de cada sonho possível.

Aos meus irmãos e sobrinhos pelo apoio, incentivo e momentos de descontração.

Ao Patrick pelo companheirismo e carinho. Agradeço por me impulsionar a ir mais longe e sempre acreditar em mim.

A todos os amigos e familiares que torceram por mim continuamente com palavras de apoio e afeto.

A Deus por sua presença, sempre.

Muito obrigada!

RESUMO

Em 2009, foi lançado o Programa Brasileiro de Etiquetagem para Edificações, PBE Edifica, que apresenta requisitos técnicos e métodos de classificação da eficiência de edificações. Nesses mais de 10 anos de vigência, trabalhos foram desenvolvidos aplicando o Regulamento para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C) e foram verificadas limitações que mostraram necessidade de aprimoramento do método. Assim, em 2018, foi elaborada uma nova proposta de avaliação, ainda em análise, a Instrução Normativa Inmetro para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C). Com isso, este trabalho tem como objetivo analisar a exequibilidade dessa nova proposta compreendendo o processo como um todo e comparando as alterações desse novo método de avaliação em relação ao método existente. A metodologia do presente trabalho é dividida em cinco etapas. A primeira trata de uma análise inicial do método de avaliação da eficiência energética em edificações presente no RTQ-C e na INI-C. Na segunda, há a determinação de um estudo de caso. A terceira e quarta consistem na aplicação dos métodos prescritivos do RTQ-C e do INI-C, respectivamente, para o edifício definido como estudo de caso. E a quinta etapa traz uma análise do processo de avaliação, com comparação entre os métodos e levantamento do tempo gasto, além da comparação do consumo de energia elétrica previsto através do INI-C com o consumo real da edificação analisada. Como resultados, o sistema de envoltória foi o que apresentou maiores alterações entre os métodos, estabelecendo parâmetros menos generalizados sobre a edificação analisada, e trouxe soluções para a maioria das limitações apontadas no método em vigor. A introdução da avaliação do sistema de condicionamento natural no método simplificado requereu mais análises, uma vez que o metamodelo utilizado para comprovação do $PHOC_T$ apresenta pouca abrangência de soluções. O sistema de iluminação apresentou nível de eficiência diferente entre os dois métodos, sendo a análise de requisitos o principal fator para essa alteração. Com isso, a classificação final do objeto de estudo, Edifício CAD 1 - UFMG, teve níveis diferentes entre as avaliações. Ao comparar o consumo previsto pela INI-C com o consumo real, o valor foi superestimado em 3,7 vezes, o que indica eventual necessidade de aprimoramento dos dados de referência utilizados.

Palavras-chave: Eficiência energética em edificações; Etiquetagem; Método prescritivo de avaliação; INI-C.

ABSTRACT

In 2009, the Brazilian labeling program of buildings, PBE Edifica, was launched, which indicates technical requirements and methods of classification of building energy efficiency. In these more than 10 years of validity, works were developed applying the Regulation for Commercial, Service and Public Buildings (RTQ-C) and limitations were verified that showed the need to improve the method. Therefore, a new evaluation proposal was prepared, still under analysis, named as Inmetro Normative Instruction for Commercial, Services and Public Buildings (INI-C). This study aims to analyze the feasibility of this new proposal to understand the whole process and compare the changes in the evaluation methods. The methodology is divided into five main stages. The first stage is an initial analysis of the energy efficiency assessment method in buildings present in RTQ-C and INI-C. In the second stage there is a determination of case study. The third and fourth consist of the application of the RTQ-C and INI-C prescriptive methods, respectively, for the building defined as a case study. The fifth stage presents an analysis of the evaluation process and a survey of the time spent, in addition to the comparison of the electricity consumption estimated through the INI-C with the actual consumption of the analyzed building. As a result, the envelope system showed the greatest changes between the methods, establishing less generalized parameters on the analyzed building, and brought solutions to most of the limitations pointed out in the current method. The introduction of the evaluation of the natural conditioning system in the simplified method requires more analysis, since the metamodel used to prove the PHOC_T has little scope for solutions. The lighting system showed a different level of efficiency between the methodologies, with the analysis of requirements only for level A at INI-C being the main factor for this change. As a result, the final classification of the Building CAD1 - UFMG had different levels between the evaluations. When comparing the consumption predicted by INI-C with the actual consumption, the value was overestimated by 3.7 times, which indicates the need to improve the reference data used.

Keywords: Energy efficiency in buildings; Labeling; Prescriptive method of evaluation; INI-C.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AI – Área Iluminada

AC – Área Condicionada

ANC – Área Não Condicionada

AU – Área Útil

AHS - Ângulo Horizontal de Sombreamento

AVS - Ângulo Vertical De Sombreamento

AOV – Ângulo de obstrução vertical

Ape – Área de Projeção da Edificação

CB3E – Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações

CEP – Consumo de Energia Primária

CgT – Carga Térmica

COP – Coeficiente de *Performance*

CRCgT – Coeficiente de Redução de Carga Térmica

CTEE – Consumo Total de Energia Elétrica

CTET – Consumo Total de Energia Térmica

ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

EqNum – Equivalente Numérico

EqNumV – Equivalente Numérico de Ambientes Ventilados Naturalmente

EqNumEnv – Equivalente Numérico da Envoltória

EqNumDPI – Equivalente Numérico do Sistema de Iluminação

EqNumCa – Equivalente Numérico do Sistema de Condicionamento de Ar

DCgT – Densidade de Carga Térmica para Refrigeração

DCI – Densidade de Carga Interna

DPE – Densidade de Potência de Equipamentos

DPI – Densidade de Potência de Iluminação

DPIL – Densidade de Potência de Iluminação Limite

DPU – Densidade de Potência em Uso

FA – Fator de Altura

FF – Fator de Forma

FS – Fator Solar

GCL – Grupo Climático

ICenv – Indicador de Consumo da Envoltória

INI-C – Instrução Normativa Inmetro – Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IPLV - *Integrated Part-Load Value*

NT- Nota Técnica

OIA – Organismo de Inspeção Acreditado

PAF_T – Percentual de Abertura de Fachada Total

PAZ – Percentual de Abertura Zenital

PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem

PBH – Prefeitura de Belo Horizonte

PHOC_T – Percentual de Horas Ocupadas em Conforto Térmico quando Ventilada Naturalmente

PI_T - Potência Instalada Total

P_L – Potência Limite

POC – Percentual de Horas em Conforto

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PRCEP – Percentual de Redução do Consumo de Energia Primária

PT – Pontuação Total

RAC – Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações

RCR - Room Cavity Ratio

RTQ-C – Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicas

RTQ-R – Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais

SPLV - *System Part-Load Value*

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

ZB - Zona Bioclimática

ZT – Zona Térmica

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE)	25
Figura 02 - Linha do tempo das publicações oficiais relativas ao RTQ-C	27
Figura 03 - Estrutura do texto INI-C	38
Figura 04 - Comparativo entre a ENCE em vigor e a ENCE proposta pela INI-C	39
Figura 05 - Escala para a determinação da classe de eficiência da edificação avaliada.....	50
Figura 06 - Escala para a definição da classe de eficiência do sistema de aquecimento de água com acumulação.....	55
Figura 07 - Escala para a definição da classe de eficiência do sistema de aquecimento de água sem acumulação.....	56
Figura 08 - Fluxograma esquemático da metodologia do presente estudo.....	57
Figura 09 - Fluxograma de escolha da equação do ICenv.....	61
Figura 10 - Fluxograma esquemático das etapas de avaliação da envoltória para edificações com ventilação natural.....	66
Figura 11 - Fluxograma esquemático das etapas de avaliação da envoltória para edificações com condicionamento artificial	66
Figura 12 - Fluxograma esquemático das etapas de avaliação do sistema de ar-condicionado etiquetado pelo Inmetro.....	74
Figura 13 - Fluxograma esquemático das etapas de avaliação do sistema de ar-condicionado não etiquetado pelo Inmetro.....	75
Figura 14 - Implantação do Edifício CAD 1	78
Figura 15 - Áreas com condicionamento de ar natural e artificial do Edifício CAD 1.	79
Figura 16 - Fachada lateral esquerda e fachada frontal, respectivamente, do Edifício CAD 1.....	80
Figura 17 - Fachada direita esquerda e fachada posterior, respectivamente, do Edifício CAD 1	80
Figura 18 – Planta de Cobertura do Edifício CAD 1	81

Figura 19 – Planta da Cobertura de Vidro do Edifício CAD 1	82
Figura 20 - Divisão do Edifício CAD 1 para cálculo do PHOC _T	96
Figura 21 - Adaptação da geometria do Edifício CAD 1 para cálculo do PHOC _T	96
Figura 22 - Áreas de permanência prolongada e áreas de permanência transitória do Edifício CAD 1	99
Figura 23 - Divisão do Edifício CAD 1 em zonas térmicas: condicionamento natural	100
Figura 24 - Divisão do Edifício CAD 1 em zonas térmicas: condicionamento artificial	101

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Classificação, parcial e final, do Sistema de Iluminação por ambientes	91
Gráfico 02 - Dados de saída da avaliação do Sistema de Envoltória – INI-C	107
Gráfico 03 - Consumo total previsto de energia elétrica do Edifício CAD 1	112

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Síntese da revisão da literatura sobre considerações do método prescritivo de avaliação	30
Quadro 02 - Principais características do Edifício escolhido para estudo de caso....	58
Quadro 03 - Tempo de aplicação das metodologias de avaliação de eficiência energética presentes no RTQ-C e INI-C no Edifício CAD 1	115
Quadro 04 - Comparativo entre metodologias de avaliação de eficiência energética em edificações comerciais, de serviços e públicas	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Equivalente numérico para cada nível de eficiência (EqNum)	26
Tabela 02 - Classificação geral de eficiência energética.....	26
Tabela 03 - Limites dos parâmetros da edificação atendidos pelo método simplificado da INI-C	40
Tabela 04 - Fator de conversão de energia elétrica e térmica em energia primária..	50
Tabela 05 - Intervalos relativos a cada uma das classes de eficiência energética....	51
Tabela 06 - Intervalos relativos a cada uma das classes de eficiência energética do sistema da Envoltória	52
Tabela 07 - Percentual de economia em relação à classe D para sistemas com equipamentos não etiquetados pelo Inmetro	53
Tabela 08 - Intervalos relativos a cada uma das classes de eficiência energética do sistema de iluminação artificial.....	54
Tabela 09 – Exemplo de tabela para definição das características do Sistema de Condicionamento de Ar (Parte I).....	62
Tabela 10 – Exemplo de Tabela para cálculo do equivalente numérico do Sistema de Condicionamento de Ar (Parte II).....	62
Tabela 11 - Cálculo do equivalente numérico do Sistema de Iluminação (Parte I) ...	63
Tabela 12 - Cálculo do equivalente numérico do Sistema de Iluminação (Parte II) ..	64
Tabela 13 - Cálculo do equivalente numérico do Sistema de Iluminação (Parte III) .	64
Tabela 14 – Parâmetros analisados no metamodelo de Rackes <i>et al.</i> . (2016) e seus valores de referência.....	68
Tabela 15 - Valores de referência para edificações educacionais	70
Tabela 16 - Cálculo da potência total instalada do Sistema de Iluminação.....	76
Tabela 17 - Transmitância térmica das superfícies externas	84
Tabela 18 - Absortância térmica das superfícies externas.....	85
Tabela 19 - Parâmetros resultantes da avaliação do Sistema de Envoltória - RTQ-C	86

Tabela 20 - Parâmetros do ICenv	86
Tabela 21 - Limites dos intervalos dos níveis de eficiência para o Sistema de Envoltória – RTQ-C.....	87
Tabela 22 - Resultados avaliação do Sistema de Condicionamento de Ar - RTQ-C (Parte I)	88
Tabela 23 - Resultados avaliação do Sistema de Condicionamento de Ar - RTQ-C (Parte II)	89
Tabela 24 - Resultados avaliação do Sistema de Iluminação – RTQ-C.....	90
Tabela 25 - Variáveis da equação para cálculo da pontuação total – RTQ-C.....	92
Tabela 26 - Declaração do atendimento dos limites de aplicação do método simplificado do INI-C	94
Tabela 27 - Dados de entrada do metamodelo de Rackes <i>et al.</i> (2016).....	97
Tabela 28 - Dados de entrada das zonas térmicas do Edifício CAD 1 – 1º pavimento	102
Tabela 29 - Dados de entrada das zonas térmicas do Edifício CAD 1 – 2º pavimento	103
Tabela 30 - Dados de entrada das zonas térmicas do Edifício CAD 1 – 2º pavimento (continuação).....	104
Tabela 31 - Dados de entrada das zonas térmicas do Edifício CAD 1 – 3º pavimento	105
Tabela 32 - Dados de entrada das zonas térmicas do Edifício CAD 1 – 4º pavimento	106
Tabela 33 - Dados de saída da avaliação do Sistema de Envoltória para áreas condicionadas naturalmente.....	107
Tabela 34 - Variáveis para determinação da escala de eficiência energética do Sistema de Envoltória do Edifício CAD 1 – INI-C.....	108
Tabela 35 - Limites dos intervalos dos níveis de eficiência do Sistema de Envoltória – INI-C.....	108

Tabela 36 - Resultados da classificação do Sistema de Condicionamento de Ar – INI-C.....	109
Tabela 37 - Consumo previsto do Sistema de Condicionamento de Ar (CCA _E).....	109
Tabela 38 - Resultados da Potência Total Instalada de Iluminação – INI-C	110
Tabela 39 – Cálculo do intervalo para os níveis de eficiência – INI-C.....	110
Tabela 40 - Limites dos intervalos dos níveis de eficiência do Sistema de Iluminação – INI-C.....	111
Tabela 41 - Consumo previsto do Sistema de Iluminação (CIL)	111
Tabela 42 - Consumo previsto em energia primária do Edifício CAD 1	112
Tabela 43 - Variáveis para determinação da escala de eficiência energética do Edifício CAD 1	113
Tabela 44 - Escala de eficiência energética do Edifício CAD 1 – INI-C	113
Tabela 45 - Comparativo consumo de energia elétrica real e consumo previsto para o Edifício CAD 1	117

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
1.1. Justificativa	20
1.2. Objetivos	21
1.2.1. Objetivo geral.....	21
1.2.2. Objetivos específicos	22
1.3. Estrutura do Trabalho	22
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	24
2.1. A política brasileira de etiquetagem	24
2.2. Estruturação do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C).....	25
2.3. Considerações sobre o método prescritivo de avaliação do RTQ-C.....	30
2.4. Instrução Normativa Inmetro – Edificações Comerciais, de Serviço e Públicas (INI-C): Novo método de avaliação do nível de eficiência energética..	36
2.4.1. Procedimentos para a Determinação do Consumo Energético dos Sistemas e Equipamentos da Edificação.....	39
2.4.1.1. Sistema de Envoltória	41
2.4.1.2. Sistema de Condicionamento de Ar.....	43
2.4.1.3. Sistema de Iluminação.....	45
2.4.1.4. Aquecimento de Água.....	47
2.4.2. Procedimento para a Determinação da Classe de Eficiência Energética da Edificação	48
2.4.2.1. Procedimento para a Determinação das Escalas e Classe de Eficiência da Envoltória.....	51
2.4.2.2. Procedimento para a Determinação das Escalas e Classe de Eficiência do Sistema de Condicionamento de Ar	52
2.4.2.3. Procedimento para a Determinação das Escalas e Classe de Eficiência do Sistema de Iluminação.....	53
2.4.2.4. Procedimento para a Determinação das Escalas e Classe de Eficiência do Sistema de Aquecimento de Água.....	54
3. METODOLOGIA	57
3.1. Análise Inicial – Revisão Bibliográfica.....	58
3.2. Determinação do estudo de caso	58
3.3. Aplicação do método de avaliação presente no RTQ-C	59
3.3.1. Avaliação do Sistema de Envoltória.....	59
3.3.1.1 Pré-requisitos específicos.....	59
3.3.1.2 Procedimento de cálculo.....	60

3.3.1.3	Determinação da eficiência.....	60
3.3.2.	Avaliação do Sistema de Condicionamento de Ar	61
3.3.3.	Avaliação do Sistema de Iluminação	62
3.3.4.	Determinação da Classe de Eficiência Energética Geral da Edificação: RTQ-C.....	64
3.4.	Aplicação do método simplificado de avaliação da INI-C	65
3.4.1.	Avaliação do Sistema de Envoltória.....	66
3.4.1.1.	Percentual de Horas de Conforto Térmico (PHOC _T)	66
3.4.1.2.	Definição do uso da tipologia.....	69
3.4.1.3.	Divisão da edificação em zonas térmicas	71
3.4.1.4.	Determinação dos parâmetros.....	72
3.4.1.5.	Cálculo da carga térmica total de refrigeração	73
3.4.1.6.	Cálculo da carga térmica total anual da envoltória	73
3.4.2.	Avaliação do Sistema de Condicionamento de Ar	74
3.4.3.	Avaliação do Sistema de Iluminação	75
3.4.3.1.	Cálculo da potência total instalada	75
3.4.4.	Avaliação do Sistema de Aquecimento de Água	76
3.4.5.	Determinação da Classe de Eficiência Energética Geral da Edificação: INI-C.....	76
3.5.	Análise do processo.....	77
3.5.1.	Tempo necessário para a análise	77
3.5.2.	Comparação de consumo	77
4.	ESTUDO DE CASO	78
4.1.	Edifício CAD 1 – Condicionamento natural e artificial.....	78
5.	ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES	83
5.1.	Resultados da aplicação do método presente no RTQ-C	83
5.1.1.	Sistema de Envoltória	83
5.1.1.1.	Pré-requisitos	83
5.1.1.2.	Indicador de Consumo da Envoltória (ICenv).....	85
5.1.2.	Sistema de Condicionamento de Ar.....	87
5.1.3.	Sistema de Iluminação.....	89
5.1.4.	Classificação de Eficiência Energética Geral: RTQ-C	91
5.2.	Resultados da aplicação do método presente no INI-C.....	93
5.2.1.	Sistema de Envoltória	93
5.2.1.1.	Cálculo do Percentual de Horas de Conforto Térmico (PHOC _T)..	95
5.2.1.2.	Zonas térmicas.....	98

5.2.1.3. Carga térmica total de refrigeração	107
5.2.2. Sistema de Condicionamento de Ar.....	108
5.2.3. Sistema de Iluminação.....	110
5.2.4. Determinação da eficiência energética do Edifício CAD 1.....	111
5.3 Tempo de aplicação das metodologias presentes no RTQ-C e INI-C	114
5.4 Consumo previsto INI-C e consumo real	117
5.5 Análise das metodologias avaliadas	117
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	121
6.1. Limitações na realização da pesquisa	124
6.2. Sugestões para pesquisas futuras.....	125
REFERÊNCIAS.....	126

1. INTRODUÇÃO

Com a melhoria da eficiência energética, há uma redução no incremento do consumo de energia e, logo, obtém-se uma redução da demanda de investimentos em novas fontes de geração (GELLER, 2003). Assim, a área da construção civil vem ganhando foco com a busca por edifícios eficientes. Entretanto, ressalta-se a importância da integração dos projetos arquitetônicos com os projetos prediais de sistema de condicionamento de ar, iluminação e equipamentos para elevar o desempenho energético destas edificações de forma sustentável (MELO, 2012).

A conservação de energia em edifícios tem favorecido o aumento de sistemas de avaliação de desempenho energético e de certificação ambiental, tanto para as edificações quanto para sistemas e equipamentos que as compõem (PESSOA; GHISI; LAMBERTS, 2013), e a inclusão de regulamentos de maior eficiência aplicados à indústria da construção pode contribuir para um desenvolvimento mais sustentável (LOPES *et al.*, 2016). Pode-se destacar a importância da avaliação de eficiência energética em edificações a partir do seu consumo: segundo o Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2020a), as edificações consumiram 52% da energia elétrica gerada no país em 2019.

Em vigor desde 2009, o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) foi lançado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) como parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). Seu objetivo é estabelecer parâmetros para definição do nível de eficiência de um edifício e, posteriormente, fornecer a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). Para obtenção da etiqueta são avaliados os sistemas de envoltória, de iluminação e de condicionamento de ar, usando o método prescritivo ou o de simulação (BRASIL, 2010). Sua aplicação foi inicialmente voluntária, tornando-se obrigatória, em 2014, para as edificações públicas federais novas ou que recebam *retrofit* (BRASIL, 2014a).

No entanto, a aplicabilidade do RTQ-C foi considerada baixa ao longo dos seus primeiros anos de atuação e estudos vêm sendo elaborados para desenvolvimento de melhorias (BRASIL, 2020b). Tal regulamento passou por aperfeiçoamentos a fim de introduzir parâmetros e sistemas para ampliar as informações e aproximar os resultados do consumo real da edificação. Além disso, buscou-se simplificar o processo de aplicação para que este seja absorvido em maior escala pelo mercado nacional.

Nesse contexto, o objeto de análise do presente trabalho é a avaliação da proposta de aperfeiçoamento, chamada Instrução Normativa Inmetro para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) que se encontra em fase final de avaliação dos comentários recebidos durante consulta pública iniciada em meados de 2018 (BRASIL, 2018). Pretende-se averiguar sua exequibilidade através da sua aplicação em uma edificação existente de forma a compreender o processo e comparar as alterações havidas entre os métodos de avaliação.

1.1. Justificativa

Desde o lançamento do RTQ-C, em 2009, até fevereiro de 2020, 250 etiquetas foram emitidas para edifícios comerciais, de serviços e públicos em 73 cidades brasileiras de 21 diferentes Estados (BRASIL, 2020b); número relativamente baixo quando comparado ao número de edificações novas no país e, também, ao número de edificações existentes. Para efeito de comparação, a Prefeitura de Belo Horizonte aprovou, em média, 160 projetos de edificação por mês considerando o período de janeiro a agosto de 2019, dos quais, em média, 39 projetos por mês eram de edificações não residenciais (BELO HORIZONTE, 2019), ou seja, em 1 ano teríamos a aprovação em apenas uma cidade de 468 novas edificações não residenciais, valor 1,8 vezes maior que o número total de etiquetas emitidas em 10 anos em todo país. Tal fato mostra que a avaliação por meio do processo de etiquetagem é ainda pouco significativo no mercado nacional.

Estima-se que uma das dificuldades na aplicação da avaliação de desempenho nos edifícios se deva, além de outros fatores, às limitações que o método possui, tornando-o moroso e complexo. Estas limitações serão discutidas ao longo do trabalho, sendo algumas limitações dadas pelo fato de o RTQ-C não abranger todas as soluções volumétricas possíveis (CARLO; LAMBERTS, 2010); de haver falta de especificações técnicas relativas aos produtos e sistemas por parte dos fornecedores e à necessidade de se ter informações que somente são definidas no decorrer da obra. Estas e outras são, ainda, consideradas barreiras, que tornam o processo de etiquetagem mais lento e com maior custo (RIBEIRO, 2016).

E, por outro lado, o método de simulação computacional é a forma mais flexível e completa de observar aspectos relacionados à eficiência energética de edificações, entretanto, Hensen e Lamberts (2011) e Zhang (2013) indicam a necessidade de mão-de-obra altamente qualificada e experiente no domínio de programas computacionais de alta complexidade para que haja confiabilidade nos resultados obtidos através da simulação, além do maior investimento financeiro e de tempo se comparada com métodos prescritivos.

Diante dessas e outras limitações do atual método, a proposta de aperfeiçoamento INI-C pode contribuir para o desenvolvimento da avaliação de desempenho das edificações no país. A partir disso, a motivação pela escolha do tema é justificada pela necessidade de compreensão do processo de avaliação da eficiência energética de edificações pelo país. Assim, este trabalho busca contribuir para o Programa Brasileiro de Etiquetagem através da análise da exequibilidade da nova proposta em edificação existente.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

O objetivo desse trabalho é aplicar a nova proposta de método para a avaliação da eficiência energética de edificações, INI-C, em uma edificação pública existente de

forma a analisar o impacto das alterações do método no processo de etiquetagem brasileiro.

1.2.2. Objetivos específicos

- Verificar como as demandas de mudanças no atual método foram atendidas na INI-C.
- Selecionar edificação existente de geometria complexa e que apresente ambientes tanto com condicionamento natural quanto com condicionamento artificial.
- Avaliar o nível de eficiência energética da edificação pelo RTQ-C.
- Avaliar o nível de eficiência energética da edificação pelo INI-C.
- Avaliar as mudanças dos critérios de avaliação da nova proposta e sua relevância na classificação final do nível de eficiência energética das edificações.
- Fazer uma análise comparativa dos métodos.
- Comparar a previsão de consumo de energia elétrica obtida na avaliação do método presente no INI-C com o consumo real da edificação analisada.
- Discutir a aplicabilidade do método para edificações existentes, de geometria complexa e condicionadas naturalmente.

1.3. Estrutura do Trabalho

O presente estudo está estruturado em seis capítulos. O Capítulo 01 – Introdução apresenta o problema investigado, o objeto de estudo e a relevância do tema escolhido. Indicam-se ainda os objetivos: geral e específicos.

No capítulo 02 – Revisão Bibliográfica, estudos sobre o tema são expostos. A política de certificação energética é abordada no contexto brasileiro. O RTQ-C é

introduzido e um levantamento das suas limitações é realizado. Por fim, a nova proposta de avaliação de eficiência energética, INI-C, é apresentada.

O capítulo 03 – Metodologia traz as etapas metodológicas para o desenvolvimento do estudo. Este ocorreu através da aplicação dos procedimentos de avaliação de eficiência energética em edificações a um estudo de caso.

No capítulo 04 – Estudo de Caso são descritas as características do edifício selecionado para as avaliações dos seus sistemas pelo Método Prescritivo e Simplificado.

O capítulo 05 – Análise dos Resultados e Discussões contempla a análise do processo de aplicação do método presente na INI-C e sua comparação com o método de avaliação do RTQ-C. É discutido, ainda, o resultado a comparação do consumo previsto pelo método da INI-C com o consumo de energia elétrica real da edificação. Assim, é possível avaliar a precisão do método proposto, sua exequibilidade e suas limitações.

O capítulo 06 – Considerações Finais faz um fechamento do estudo desenvolvido e apresenta as limitações da pesquisa e considerações para futuros trabalhos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A política brasileira de etiquetagem

Com o racionamento de energia elétrica ocorrido no Brasil em 2001, intensificaram-se os estudos sobre eficiência energética, dando origem à Lei nº 10.295 (BRASIL, 2001), que trata da Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. A referida lei foi regulamentada pelo Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001, que estabeleceu a necessidade de criação de níveis mínimos e procedimentos para a avaliação de eficiência energética em edificações. Este decreto foi atualizado em 2019 pelo Decreto nº 9.864 de 2019 (BRASIL, 2019).

A partir da legislação promulgada em 2001, em 2009, foi instituído o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). Atualmente encontra-se em vigor a Portaria Inmetro nº 372, de 17 de setembro de 2010 (BRASIL, 2010), complementada pela Portaria Inmetro nº 17, de 16 de janeiro de 2012, pela Portaria Inmetro nº 299 de 19 de junho de 2013 (BRASIL, 2013) e pela Portaria Inmetro nº 126, de 19 de março de 2014. Sua aplicação é voluntária, porém tornando-se obrigatória em 2014 para edificações públicas federais novas ou que recebam *retrofit* conforme Instrução Normativa MPOG/SLTI nº 02, de 04 de junho de 2014 (BRASIL, 2014a). Em 2010, dando continuidade ao processo, foi instituído o Regulamento Técnico da Qualidade para o nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R).

Como o tema deste trabalho se restringe edificações não residenciais, a seguir será descrito em maior detalhe o sistema para avaliação destas.

2.2. Estruturação do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C)

O RTQ-C tem por objetivo a concessão da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), que indica o desempenho da envoltória, da iluminação artificial e do condicionamento de ar de determinada edificação. Cada um dos sistemas é classificado separadamente e, quando ponderados e adicionadas as bonificações possíveis, os resultados geram a etiqueta global, conforme Figura 01, que classifica a eficiência energética da edificação como um todo.

Figura 01 - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE)



Fonte: BRASIL, 2017.

A ENCE não apresenta diretamente o consumo energético da edificação, mas apresenta um indicador adimensional que está relacionado ao consumo de energia

correspondente às decisões arquitetônicas. Os equivalentes numéricos de cada sistema avaliado varia de 1 (um) a 5 (cinco) de acordo com a classe alcançada (Tabela 01) e, conforme a pontuação total obtida pelo edifício, o mesmo é inserido em uma das classes de eficiência, que variam de A (mais eficiente) a E (menos eficiente) (Tabela 02). Além dos pontos obtidos pelas características básicas exigidas pelos regulamentos, pode-se adicionar até um ponto, na pontuação final, procedente de possíveis bonificações, como o uso racional de água e de sistemas renováveis de energia, dentre outras, desde que comprovada sua economia. A avaliação do desempenho energético do edifício pode ser feita por dois métodos: o prescritivo e de simulação, sendo que o primeiro é feito através de equações e o segundo por meio de simulação computacional (BRASIL, 2010).

Tabela 01 - Equivalente numérico para cada nível de eficiência (EqNum)

A	5
B	4
C	3
D	2
E	1

Fonte: BRASIL, 2010.

Tabela 02 - Classificação geral de eficiência energética

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

Fonte: BRASIL, 2010 alterado pela autora.

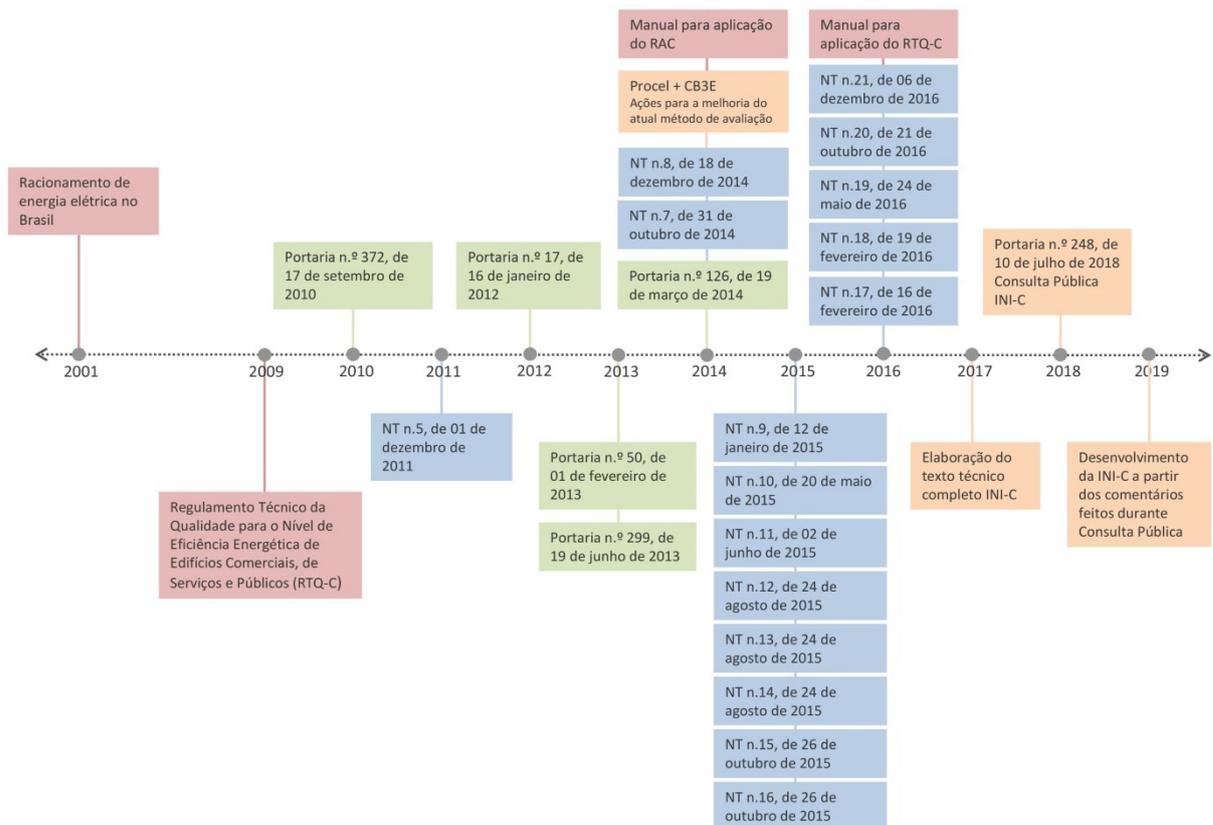
Desde a criação do RTQ-C, Manuais e Notas Técnicas (NTs) são publicados para esclarecer possíveis questionamentos. Uma linha do tempo foi criada para destacar as principais publicações oficiais realizadas desde 2001, com relação ao RTQ-C, apresentadas na Figura 02. Dois manuais foram publicados, o Manual para a

Aplicação do RTQ-C (BRASIL, 2017) e o Manual para a Aplicação dos Requisitos de Avaliação da Conformidade (RAC) (BRASIL, 2014b) que objetivam explicar, esclarecer e exemplificar o conteúdo presente no regulamento.

As Notas técnicas começaram a ser publicadas em 2011, abrangendo o RTQ-C e o RTQ-R. Ao longo desses anos foram publicadas 22 Notas Técnicas das quais 16 se referem à avaliação de edificações comerciais, de serviços e públicas, sendo que oito abordam o sistema de envoltória, ou seja, 50% das NTs para o setor. As demais se dividem entre condicionamento de ar (4 NTs), iluminação artificial (2 NTs), pré-requisitos (1 NT), bonificação (1 NT) e outros (1 NT).

Atualmente é considerado pelo INMETRO que as Notas Técnicas que por ventura alterem o teor do texto do RTQ-C ou do RTQ-R passam a não ter validade como documento indicativo de análise da edificação, o que pode gerar dúvidas no que pode ser considerado e gerando insegurança na aplicação do Regulamento.

Figura 02 - Linha do tempo das publicações oficiais relativas ao RTQ-C



Fonte: Autora.

A partir da análise dos documentos auxiliares ao RTQ-C, este trabalho aborda principalmente aqueles referentes ao método prescritivo e que são de relevância para o estudo de caso do presente trabalho.

Carlo e Lamberts (2010) e Albuquerque, Lacerda e Krause (2013) descreveram a análise de geometrias complexas como uma das limitações do método prescritivo, uma vez que as equações da Envoltória não descrevem de maneira clara o comportamento de volumetrias divididas em blocos, pois foram desenvolvidas baseadas em protótipos paralelepípedos. Em outubro de 2014 então, a Nota Técnica n.7 (BRASIL, 2014c), foi publicada com o objetivo de explicar como se deve proceder nas avaliações de edificações em blocos conectados e edificações com átrios, pátios e jardins de inverno pelo método prescritivo do RTQ-C. Essa Nota indica que devem-se avaliar separadamente os diferentes blocos de uma edificação e classificá-los através de ponderação em relação à área da envoltória de cada um deles.

Com relação à comprovação do Percentual de Horas de Conforto (POC) para ambientes não condicionados, a Nota Técnica n.10 (BRASIL, 2015b) indicou ambientes de permanência prolongada não condicionados e com geração de calor em seus interiores que não precisam comprovar, tais como: cozinhas profissionais, oficinas mecânicas (áreas de manutenção), saunas, açougues, ginásios, academias de ginástica e piscinas. Em caso da necessidade de comprovação do POC, esta deve ser feita através da simulação computacional. No entanto, no Fórum do PBE Edifica onde há questionamentos sobre a comprovação do POC, alguns avaliadores optaram por não fazer a simulação de conforto térmico e admitir a pior classificação para essas zonas (POC<50%) (PBE, 2019). Tal fato indica a dificuldade da utilização do método de simulação computacional.

Já a Nota Técnica n.19 (BRASIL, 2016b) aborda a avaliação do sistema de iluminação em escadas, esclarecendo que para escadas enclausuradas e não enclausuradas é necessário haver pelo menos um dispositivo de controle manual restrito aos ocupantes com acionamento independente da iluminação interna. Já as escadas integradas aos demais ambientes devem ser incluídas na avaliação do

ambiente. Quanto ao pré-requisito de contribuição de iluminação natural, a NT indica que este não se aplica às escadas. Esta Nota vem complementar o texto do Regulamento que não trata especificamente de escadas. Como é um texto não existente anteriormente e não uma explicação, pode ser considerado como não aplicável pelos OIA.

A Nota Técnica n.20 (BRASIL, 2016c) traz considerações sobre aberturas com sistemas de proteção solar paralelo às fachadas. A NT indica que para o cálculo do PAF_T , apenas as aberturas vistas ortogonalmente através da proteção solar devem ser consideradas áreas de abertura envidraçada e o ângulo de sombreamento não considerado. Outra opção é adotar como ângulo de sombreamento, o ângulo médio entre as várias proteções solares. Neste caso, as áreas de proteção solar não devem ser descontadas da área de abertura envidraçada para o cálculo do PAF_T .

Em estudo realizado por Santos e Souza (2012) em uma edificação localizada na ZB3, verificou-se por simulação a redução do consumo de energia do ambiente com a instalação de proteções horizontais (brises) sobre a abertura. No entanto, pela aplicação da equação do Indicador de Consumo da envoltória (ICenv), a classificação da envoltória do edifício não se alterou com a presença de proteção solar horizontal e, ainda, indicou aumento de consumo para proteção solar vertical, o que foi contrário ao resultado de simulação. O método prescritivo do RTQ-C para avaliação do sistema de envoltória considera apenas o ângulo da proteção solar na avaliação, porém o estudo mostrou que outros fatores, como a geometria da proteção solar, também deveriam ser analisados. A partir destas constatações, o RAC-C passou a indicar que as proteções solares a serem consideradas para o cálculo do ICenv deveriam ser indicadas pelo cliente abrindo a possibilidade de não se contabilizar os elementos de proteção solar que reduzam o nível de eficiência energética da edificação.

Além da elaboração de documentos complementares ao RTQ-C para esclarecimento e consolidação do método de avaliação do nível de eficiência energética em edificações, ações foram desenvolvidas pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica em Edificações (PROCEL Edifica) junto ao Centro Brasileiro de

Eficiência Energética em Edificações (CB3E) desde 2014. Essas ações resultaram em uma nova proposta de método para avaliação, a Instrução Normativa Inmetro (INI-C), que será abordada no item 2.4.

2.3. Considerações sobre o método prescritivo de avaliação do RTQ-C

Foi feita uma pesquisa em publicações em periódicos e congressos da área a partir de 2009, ano de lançamento do RTQ-C, e os principais apontamentos relativos ao método, além dos relacionados às Notas Técnicas apresentados no item anterior 2.2., encontram-se no Quadro 01 e são abordados a seguir.

Quadro 01 - Síntese da revisão da literatura sobre considerações do método prescritivo de avaliação

Ano	Autores	Principais considerações / limitações do método prescritivo atual	Envoltória			Iluminação	Cond. de ar	Geral/outros
			Pré requisitos	Volumetria	Outros parâmetros			
2010 2012	CARLO; LAMBERTS MELO	Limitações: edificações com ventilação natural devem ser simuladas, limites na avaliação de volumetrias complexas e pequena precisão na avaliação de vidros de elevado desempenho.		X			X	
2010	FOSSATI; LAMBERTS	O PAF é a variável de maior impacto no indicador de consumo da envoltória, seguido das proteções solares.			X			
2010	SANTOS; DORNELLES ; SOUZA	A classificação é muito sensível às variações da absorptância, porém essas podem não resultar num aumento expressivo no consumo do edifício.	X					
2010	SOUZA <i>et al.</i>	Indicação de barreiras para aplicação da avaliação relativas à: infraestrutura de fornecimento limitada, problemas de qualidade, informação e treinamento insuficientes, procedimentos de compra baseados em licitações e obstáculos políticos.						X
2011	SILVA; GIONGO; ANDREASI	Os autores desenvolveram planilhas que permitem economia de tempo, melhor organização dos resultados, facilidade de correção ou alteração dos dados.						X
2012	MELO <i>et al.</i>	O método prescritivo resulta em nível de eficiência de envoltória inferior quando comparado ao método de simulação. Apresenta resultado final estabelecido como um indicador de consumo, e não como um resultado de consumo de energia da edificação.			X			
2012	SILVA; ALMEIDA; ANDREASI	Na simulação, a absorptância influenciou pouco no consumo de energia, sendo compensada por grandes sombreamentos nas aberturas no estudo de caso analisado.	X					
2012	SANTOS; SOUZA	O uso de proteção solar mostrou redução do consumo no método de simulação, enquanto no método prescritivo não houve alteração na classificação da envoltória.			X			
2013	ALBUQUERQUE; LACERDA; KRAUSE	O método prescritivo mostrou-se trabalhoso em edifício de geometria complexa.		X				
2013	MELO, <i>et al.</i>	Falhas do método estatístico adotado pelo RTQ-C e potencialidade de maior precisão adotando redes neurais e hipercubo latino.			X			

2013	NAKAMURA; MACIEL; CARLO	Os índices de conforto recomendados pelo RTQ-C apresentam limitações para edifícios de uso específico com condicionamento natural. Necessidade de pesquisas sobre as condições que proporcionam conforto térmico em usuários de edifícios com uso específico.						X	
2013	ROSA; BRANDALIS E; SILVA	Dificuldades de levantar dados para o cálculo do ICenv. Método prescritivo não considera a orientação solar.			X				
2013	TAVARES; AMORIM	Por não considerar a ventilação natural no método prescritivo, o RTQ acaba por penalizar a PT.						X	
2013	VELOSO; SOUZA; KOURY	Pré-requisitos na classificação da envoltória podem estar superestimados no método prescritivo.	X						
2014	BRANDAO; SOUZA	Análise da pertinência da aplicação do pré-requisito de Contribuição da Luz Natural em garagens.					X		
2014	BRANDALIS E; AVILA; OLIVEIRA; CUNHA	Necessidade de revisão das transmitâncias térmicas dos pré-requisitos específicos no método prescritivo frente a edifícios com elevada densidade de carga interna.	X						
2014	SCALCO, <i>et al.</i>	Saber quanto uma edificação economiza em média ao mudar de um nível para o outro permite uma análise da viabilidade econômica da adoção de determinadas decisões de projeto, porém a porcentagem de economia de energia de um nível para outro não é linear e varia de acordo com a ZB.			X	X	X		
2014	MELO; FOSSATI; LAMBERTS	Indicação da necessidade de proposição de novas escalas para o RTQ-C.			X	X	X		
2015	FONSECA; PEREIRA	Proposição de método para estimativa da redução do consumo energético em função do aproveitamento de luz natural e seu emprego no RTQ-C.				X			
2015	LOPES; COSTOLA; LABAKI	Edificações com diferentes características de desempenho energético podem obter níveis próximos pelo método prescritivo.			X	X	X		
2016	ELOY; AKUTSU	O PAF é a variável que mais impacta no resultado final da classificação pelo método prescritivo, seguida pelo AVS. O FS possui uma pequena influência sobre o resultado.			X				
2016	FERREIRA, <i>et al.</i>	Dificuldade de obtenção de dados e de avaliação de formas complexas da envoltória; vidros de alto desempenho não são avaliados de forma adequada.		X					
2016	RUZICKI; DUARTE; BRANDALIS E; GRALA	Os níveis de eficiência energética analisados e classificados pelo RTQ-C, como níveis A, B e C, nem sempre correspondem à eficiência desejada.			X	X	X		
2016	GARCIA; SOUZA	O simulador de eficiência energética em edificações (S3E) possui algumas limitações, porém os resultados obtidos são mais próximos aos da simulação do que aos do método prescritivo.							X
2016	LOPES, <i>et al.</i>	Não se considera as emissões de carbono no método de avaliação atual.							X
2017	FONSECA, <i>et al.</i>	A classe de eficiência energética pode ser alterada conforme pré-requisitos adotados ou não e pelo uso de bonificações, mas o impacto real destas medidas no consumo energético da edificação não é significativo.	X				X	X	
2017	QUEVEDO; BAUMANN; VERSAGE	Quanto menor o Ape da edificação, maior probabilidade de classificação nível "A". O PAF é o parâmetro que apresentou maior influência na classificação. Quanto maior for o AVS, maior será a ocorrência de nível "A". Indicação da necessidade de adaptação da escala apresentada no sistema.			X				
2018	PEREIRA; CARDOSO; BORN	O método prescritivo apresenta trabalhoso levantamento de dados e deixa margens para a ocorrência de erros.			X				
	Soma	28 artigos	5	3	12	7	8	4	
	Percentual		18%	11%	43%	25 %	28 %	14 %	

Fonte: Autora.

O Quadro 01 mostra que maioria das considerações levantadas sobre o método prescritivo de avaliação do RTQ-C se referem ao sistema de envoltória. Dessas, 25% tratam sobre os pré-requisitos que não refletem a condição real de eficiência do edifício e podem estar superestimados; 15% abordam as limitações recorrentes da volumetria da edificação; e 60% abordam demais parâmetros do sistema. Os sistemas de iluminação e de condicionamento de ar apresentam semelhança no número de vezes que são citados, aproximadamente 25% cada. As demais considerações, aproximadamente 14%, abordam assuntos gerais do método prescritivo de avaliação.

O método prescritivo foi estabelecido como um conjunto de regras gerais para identificar a eficiência do edifício e aplica-se à grande maioria de tipologias construídas atualmente no país. No entanto, não abrange todas as soluções possíveis de existir em um edifício, que, em muitos casos, só poderão ser avaliados pela simulação (CARLO; LAMBERTS, 2010).

A simulação computacional pode ser aplicada em qualquer tipo de edifício, porém demanda considerável quantidade de tempo e de recursos, e requer um nível de conhecimento amplo e complexo quando comparado aos métodos simplificados. Recomenda-se a simulação quando o método prescritivo não descreve apropriadamente as características do edifício que participam da eficiência energética. Este é o caso, por exemplo, da ventilação natural que está presente nas parcelas de condicionamento de ar e da envoltória sob a forma de um equivalente numérico (EqNumV) que só é obtido através de simulação (CARLO; LAMBERTS, 2010).

Conforme apresentado por Melo (2012), o método prescritivo adota poucos dados de entrada e seu desenvolvimento conta com suposições quanto ao clima, padrões de uso e tipo de construções. Com isso, suas simplificações apresentam limitações tais como: a necessidade de simular a ventilação natural; a volumetria do edifício nem sempre pode ser adequadamente considerada, transmitância térmica das paredes não entra na avaliação, mas apenas nos pré-requisitos e há pequena

precisão na consideração de vidros de elevado desempenho em grandes aberturas envidraçadas.

Tavares e Amorim (2013) apresentaram um estudo no qual houve divergências de resultados entre os métodos prescritivo e de simulação para avaliação da envoltória com e sem a simulação da ventilação natural. Uma vez que o estudo de caso analisado possuía maior porcentagem de áreas não condicionadas, ou seja, ventiladas naturalmente e a ventilação não é considerada no método prescritivo, a pontuação total foi penalizada, já que o sistema de envoltória considera o EqNumEnv apenas para as áreas condicionadas quando o prédio não foi simulado. O EqNumV é 1 quando não é feita a simulação computacional para as ANC (área de permanência prolongada não condicionada) e é este o número a ser considerado para estas áreas. Este número é ponderado com o EqNumEnv proporcionalmente à área de cada tipo de ambiente. Isso ocorre, visto que os modelos utilizados na elaboração do método de avaliação do RTQ-C são condicionados artificialmente. De acordo com os autores, a eficiência energética acaba sendo desvinculada do conforto do usuário, já que as avaliações tratam apenas o condicionamento artificial e supõem-se que os níveis de conforto são atendidos em ambientes condicionados artificialmente.

Outra consideração sobre o método prescritivo se relaciona aos pré-requisitos. Na envoltória, esses são determinados por valores limites de absorvância e transmitância térmica dos materiais utilizados. Veloso, Souza e Koury (2013) encontraram, na avaliação dos pré-requisitos da envoltória para um estudo de caso em Belo Horizonte, que as diferenças de consumo de energia da edificação foram pequenas quando se alteraram os valores destas variáveis. Sendo que, quando o valor da transmitância da cobertura foi aumentado, o consumo da edificação diminuiu. De acordo com os autores, tal fato pode estar associado à maior perda de calor durante a noite, fazendo com que o consumo anual diminuísse no caso estudado. Assim, os autores constataram que a transmitância térmica da cobertura nos pré-requisitos afeta o prédio como um todo, mas na simulação computacional afeta principalmente o consumo do andar de cobertura e apenas nas áreas em que os ambientes internos têm contato direto com a laje de cobertura.

Já em estudo realizado por Brandalise *et al.* (2014), analisou-se o consumo energético de edifícios-modelo com absorvância e transmitância térmica da envoltória variando de acordo com os limites estabelecidos nos pré-requisitos para os níveis A, B e C, e com diferentes densidades de carga interna (DCI). Como resultados, em edifícios com elevada densidade de carga interna, DCI, e com transmitância térmica da envoltória atendendo ao nível B, o consumo encontrado foi inferior ao da envoltória que atende o nível A. Isso mostra que o aumento da densidade de carga interna provoca um acréscimo no calor interno, gerado pela grande quantidade de equipamentos e que em edificações com maior isolamento térmico (Nível A), o calor interno se mantém no ambiente, necessitando do sistema de condicionamento de ar para resfriamento. Assim, os autores sugeriram que a transmitância térmica devesse ser revisada em decorrência das possibilidades de edifícios com elevadas DCI.

Santos, Dornelles e Souza (2010) apontaram a sensibilidade que a classificação da edificação apresenta em relação às variações no dado da absorvância gerando, assim, necessidade de aplicação de valores muito precisos, porém afirmaram que nem sempre esses valores são facilmente determinados. As autoras abordaram que pequenas variações na absorvância podem piorar a classificação da envoltória, porém não resultam em aumento significativo no consumo energético do edifício. Segundo Silva, Almeida e Andreasi (2012) em um estudo de caso de uma edificação universitária localizada na ZB6, que conta com condicionamento artificial, o método de simulação revelou que a absorvância influenciou pouco no consumo de energia, sendo que pelo método prescritivo houve redução do nível de eficiência no caso estudado por eles.

Para a avaliação do sistema de iluminação um dos pré-requisitos é a contribuição da iluminação natural. Brandão e Souza (2014) analisaram garagens em edifícios comerciais que contavam com aberturas. Ao separarem uma fileira de luminárias próxima às aberturas, o potencial de redução de consumo de energia elétrica se mostrou significativo. Nesse contexto, Fonseca e Pereira (2015) elaboraram uma sequência metodológica para estimar a redução do consumo energético de edificações comerciais com o uso de iluminação natural usando redes neurais

artificiais para determinação da Densidade de Potência em Uso (DPU) associada a um zoneamento de iluminação natural. Os autores concluíram que as redes neurais artificiais são uma técnica com potencial para ser aplicada no desenvolvimento de métodos simplificados de avaliação de iluminação natural sob o enfoque energético e poderia ser usada para complementar o RTQ-C, aplicando a ponderação de áreas de DPU e DPI para computar o aproveitamento da luz natural junto ao termo referente à avaliação do sistema de iluminação artificial, da Equação da Pontuação Final do mesmo regulamento.

É importante destacar ainda, que o RTQ-C utiliza indicadores de energia que não expressam o consumo por unidade de área (kWh/m²/ano), com isso a compreensão dos resultados é dificultada, além da comparação com os indicadores de outros países (MELO; FOSSATI; LAMBERTS, 2014).

Em relação ao método estatístico adotado, o modelo simplificado presente no RTQ-C (regressão linear múltipla) se baseia em um universo amostrado. “Como uma regressão matemática, ela permite que qualquer número seja inserido; como uma equação estatística que descreve uma realidade, ela possui limitações” (CARLO; LAMBERTS, 2010, p.21).

Entretanto, outros métodos estatísticos permitem avaliar a resposta do desenvolvimento de modelos simplificados, entre eles o método estatístico de redes neurais artificiais. O estudo realizado por Melo *et al.* (2013) comparou essas duas técnicas de modelagem e concluiu que a aplicação do método estatístico de redes neurais apresentou resultados com pouca diferença quando comparados com os resultados do programa *EnergyPlus*. Esse método possibilitou que todas as tipologias com diferentes áreas de projeção de cobertura fossem compreendidas em uma única equação e apresentou uma diferença pequena entre o consumo simulado e o equacionado para as tipologias que não foram consideradas no seu desenvolvimento.

A partir dessas considerações sobre o atual método de avaliação entende-se que o aprimoramento do Regulamento realmente se mostrou necessário, podendo levar a

uma solução que respondesse melhor às condicionantes de projeto e a uma maior consolidação da etiquetagem de edificações no mercado brasileiro.

2.4. Instrução Normativa Inmetro – Edificações Comerciais, de Serviço e Públicas (INI-C): Novo método de avaliação do nível de eficiência energética

Desde 2014, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica em Edificações (PROCEL Edifica), junto com o Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E), vêm desenvolvendo ações para o avanço do método de avaliação do nível de eficiência energética de edificações comerciais, de serviços e públicas, bem como de edificações residenciais, no âmbito do convênio ECV DTP 001-2012, intitulado “Desenvolvimento de Ações Integrantes do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL”, firmado entre a Eletrobrás e a Universidade Federal de Santa Catarina. Com isso foi apresentado, em 2017, um novo método para a avaliação da eficiência energética de edificações comerciais, de serviços e públicas.

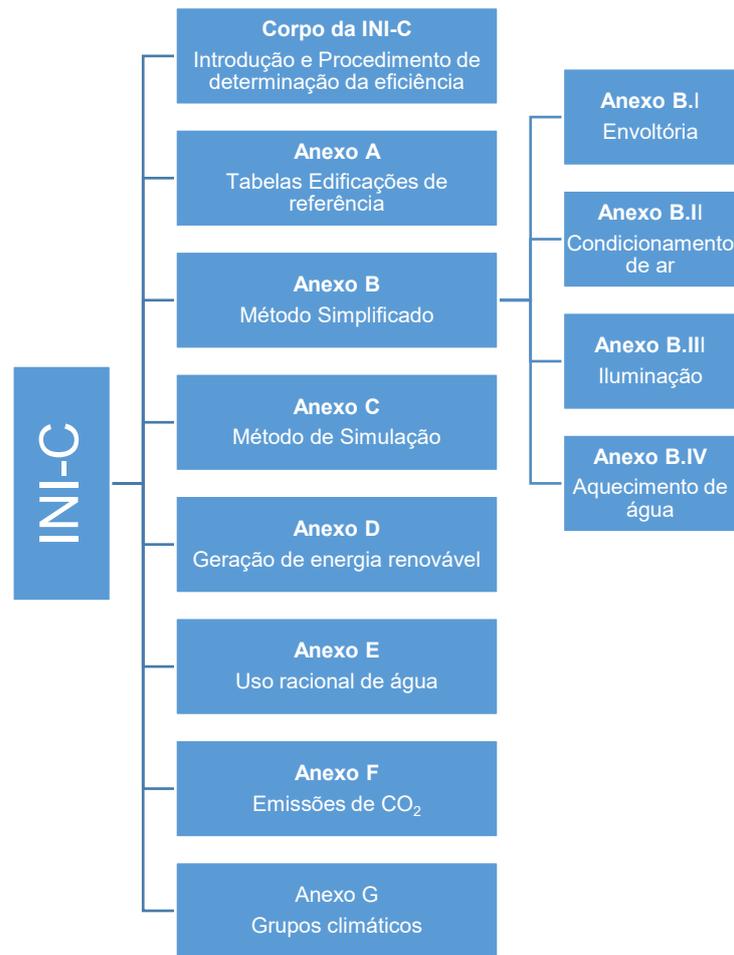
Frente às limitações encontradas no atual método estático adotado na avaliação de desempenho das edificações (regressão linear múltipla), foi desenvolvido um novo método por meio de redes neurais artificiais para melhor representar a correlação entre os dados de entrada e saída visando maior precisão na estimativa do consumo de energia dos edifícios. Em comparações realizadas foi observado que o atual método não representa bem a relação entre as edificações avaliadas e suas características com seus respectivos consumos de energia. Já a aplicação do método estático de redes neurais reduziu o erro médio calculado entre o consumo simulado e o equacionado, garantindo maior precisão ao modelo simplificado (MELO, 2012).

Em fase final de implementação após terem sido respondidos os questionamentos da consulta pública, a proposta baseia-se no consumo de energia primária, comparando as características de uma edificação real com condições de referência

que equivalem à classe energética D deixando de trabalhar com o indicador de consumo adimensional do RTQ-C e passa a adotar o consumo de energia (kWh/ano). Os sistemas avaliados (envoltória, condicionamento de ar, iluminação e aquecimento de água) resultam em consumos de energia elétrica ou de energia térmica. Buscando aproximação com o consumo real da edificação analisada as diferentes fontes de energia são convertidas para energia primária, a fim de que possam ser somadas e avaliadas em conjunto. A proposta considera ainda o consumo estimado de equipamentos, o uso racional de água, a geração local de energia renovável e as emissões de dióxido de carbono (CO₂), sendo a energia gerada a partir de fontes alternativas subtraída do consumo total.

A Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) poderá ser obtida para todos os sistemas em conjunto (ENCE geral), ou para diferentes combinações entre os sistemas, considerando sempre a envoltória ou somente para a envoltória da edificação (ENCE parcial). A Figura 03 mostra a estrutura do texto da INI-C.

Figura 03 - Estrutura do texto INI-C



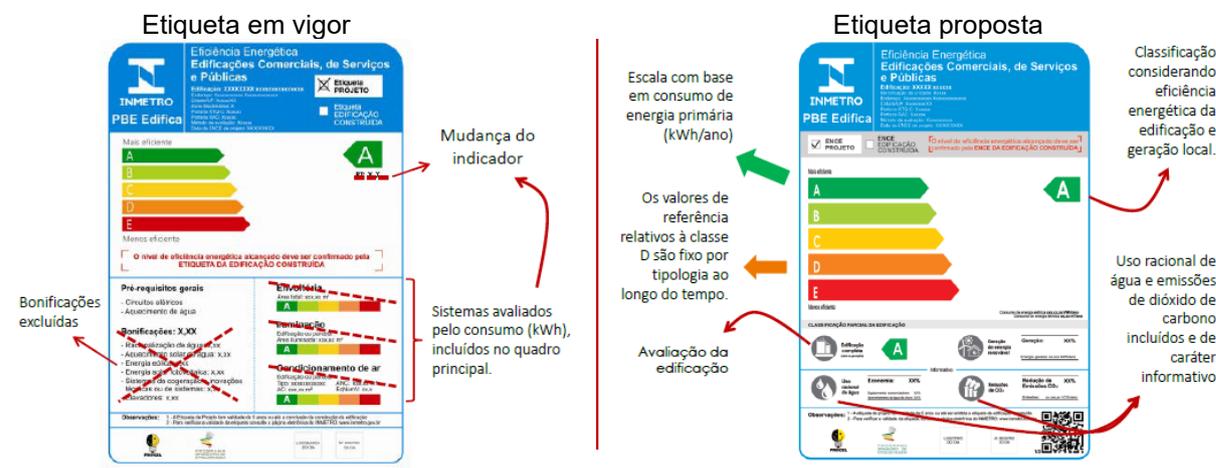
Fonte: Autora.

Conforme apresentado por Melo (2012) em sua tese, houve a ampliação da base de dados adotada anteriormente (dez tipologias) considerando um total de 16 (dezesseis) tipologias com diferentes características relacionadas a elas. Limites mínimo e máximo de diferentes dados de entrada foram determinados para melhor representar as diferentes combinações de características construtivas encontradas nas edificações comerciais do Brasil. Através do método Hipercubo Latino foram realizadas combinações entre as diversas tipologias adotadas e suas características. Empregou-se o método de modelagem estatística de redes neurais artificiais, com base nos dados de entrada e nos dados de saída das simulações, para o desenvolvimento do novo modelo simplificado.

As bonificações (consumo de água; cogeração ou inovações tecnológicas; fração solar para coletores; eficiência dos elevadores) foram excluídas. Nessa nova

proposta, o uso racional da água passou a ter caráter informativo, sendo acrescentada também a emissão de CO₂ total na edificação em t.CO₂/ano. Os pesos de representatividade dados aos subsistemas foram retirados evitando o caráter generalizado de consumo e exprimindo o que acontece em cada caso. Além disso, o consumo energético com aquecimento de água passou a ser contabilizado na equação final juntamente com o consumo dos sistemas de iluminação e de condicionamento de ar e dos equipamentos presentes na edificação. A Figura 04 mostra as principais alterações ocorridas entre as duas etiquetas, do RTQ-C e do INI-C.

Figura 04 - Comparativo entre a ENCE em vigor e a ENCE proposta pela INI-C



Fonte: CB3E, 2016.

A seguir, são apresentados os procedimentos para avaliação do nível de eficiência energética de edificações comerciais, de serviços e públicas da proposta de aperfeiçoamento INI-C descritos no texto disponibilizado para consulta pública pela Portaria n.º 248, de 10 de julho de 2018 (BRASIL, 2018).

2.4.1. Procedimentos para a Determinação do Consumo Energético dos Sistemas e Equipamentos da Edificação

A proposta de aperfeiçoamento, assim como a metodologia do Regulamento em vigor, apresenta dois métodos para a determinação da eficiência: método simplificado e método de simulação. Para a utilização do método simplificado no sistema de envoltória é necessário realizar a verificação da viabilidade de sua aplicação. Para edificações condicionadas artificialmente ou parcelas da edificação condicionadas artificialmente pode-se usar o método simplificado desde que seus parâmetros construtivos atendam aos limites apresentados na Tabela 03.

Tabela 03 - Limites dos parâmetros da edificação atendidos pelo método simplificado da INI-C

Parâmetros	Limites	
	Valor mínimo	Valor máximo
Absortância solar da cobertura (α)	0,2	0,8
Absortância solar da parede (α)	0,2	0,8
Ângulo de obstrução vizinha (AOV)	0°	80°
Ângulo horizontal de sombreamento (AHS)	0°	80°
Ângulo vertical de sombreamento (AVS)	0°	90°
Capacidade Térmica da cobertura (CTcob)	0,22 kJ/m ² K	450 kJ/m ² K
Capacidade Térmica da parede (CTpar)	0,22 kJ/m ² K	450 kJ/m ² K
Contato com o solo	Sem contato (Ex.: sobre pilotis ou em balanço)	Em contato
Densidade de Potência de equipamentos (DPE)	4 W/m ²	40 W/m ²
Densidade de Potência de iluminação (DPI)	4 W/m ²	40 W/m ²
Fator solar do vidro (FS)	0,21	0,87
Pé-direito (PD)	2,6 m	6,6 m
Percentual de abertura da fachada (PAF)	0%	80%
Piso com isolamento	Não, se isolamento < 5 mm	Sim, se isolamento > 5 mm
Transmitância térmica da cobertura (Ucob)	0,51 W/m ² K	5,07 W/m ² K
Transmitância térmica da parede externa (Upar)	0,50 W/m ² K	4,40 W/m ² K
Transmitância térmica do vidro (Uvid)	1,9 W/m ²	5,7 W/m ²

Fonte: BRASIL, 2018.

Para edificações ventiladas naturalmente ou com sistemas de condicionamento híbridos pode-se usar o método simplificado para avaliação da envoltória quando seus parâmetros atendem aos intervalos definidos para uso do metamodelo de Rackes *et al.* (2016) apresentados no item 2.4.1.1.

A avaliação da envoltória resulta no valor de carga térmica anual (kWh/ano) para resfriamento, utilizado para o cálculo do consumo energético do sistema de condicionamento de ar, sendo dados de entrada as informações arquitetônicas divididas em zonas térmicas. Em se tratando do sistema de iluminação artificial, utilizam-se os dados do projeto luminotécnico para obter a potência instalada de

iluminação (W/m^2) e o tempo de utilização do mesmo para obtenção do consumo de iluminação (condição real e condição de referência), assim se encontra o consumo relativo ao sistema de iluminação artificial instalado na edificação (kWh/m^2). Já no sistema de condicionamento de ar, a obtenção dos dados se dá através do projeto de condicionamento de ar a fim de se chegar ao coeficiente de *performance* e o valor integrado de parte-carga (COP/IPLV) ponderado pela área condicionada. A partir da divisão da carga térmica anual pela eficiência energética do sistema de condicionamento de ar (obtida no cálculo da envoltória), tem-se o consumo deste sistema (kWh/ano).

A avaliação da geração de energia renovável é feita a partir do percentual de energia consumida, ou seja, a energia gerada por fontes renováveis ao longo do ano dividido pelo consumo total de energia ao longo do ano (BRASIL, 2018).

O método da simulação compara o desempenho do edifício em análise com condições de referência, sendo, assim, necessário construir, para a avaliação, um modelo representando a edificação real e um modelo de referência. Neste caso, o nível de eficiência energética final será determinado em conformidade com a porcentagem de redução de consumo de energia do projeto real com relação ao consumo de energia do modelo de referência (BRASIL, 2018).

2.4.1.1. Sistema de Envoltória

Para o cálculo da carga térmica total da envoltória podem ser avaliadas pelo método simplificado: a) edificações totalmente condicionadas artificialmente; b1) edificações que alternam entre o uso da ventilação natural e o condicionamento artificial (sistemas híbridos); e b2) edificações totalmente ventiladas naturalmente.

a) Edificações condicionadas artificialmente

A estimativa da carga térmica para refrigeração baseia-se em metamodelos de análise que utilizam redes neurais artificiais para diferentes realidades climáticas brasileiras. A carga térmica total de refrigeração ($Cg_{T_{REFRIG}}$) é determinada com

base em parâmetros construtivos físicos, geométricos e de carga interna da edificação. Os valores de densidade de carga térmica de resfriamento anual devem ser transformados em carga térmica total para toda a edificação em sua condição real e para a de referência (CgT_{TREAL} e CgT_{TREF}).

Para a determinação da carga térmica devem-se seguir as seguintes etapas:

- Definição da tipologia em função do uso.
- Divisão da edificação em zonas térmicas.
- Determinação dos parâmetros de entrada da edificação real e de referência por zona térmica, sendo esses: área da zona térmica (m^2); tipo de zona térmica (perimetral/interna); contato com o solo; presença de cobertura voltada para o exterior; existência de isolamento térmico no piso; orientação solar; horas de ocupação por dia; densidade de potência de equipamentos (kWh/m^2); densidade de potência de iluminação (kWh/m^2); percentual de abertura de fachada; fator solar; transmitância térmica do vidro, cobertura e paredes externas (W/m^2K); absorptância solar da cobertura e paredes externas; pé-direito (m); ângulo horizontal de sombreamento; ângulo vertical de sombreamento; ângulo de obstrução vertical; capacidade térmica da cobertura e paredes externas (kJ/m^2K).
- Cálculo da densidade de carga térmica para refrigeração e carga térmica total de refrigeração a partir do metamodelo.

Em seguida, os parâmetros devem ser inseridos na interface do metamodelo (Disponível em: http://pbeedifica.com.br/redes/comercial/index_with_angular.html#). Os valores anuais de densidade de carga térmica para refrigeração ($DCgT$) para cada uma das zonas de análise são obtidos por meio de redes neurais artificiais. Após a determinação da densidade de carga térmica de refrigeração ($kWh/m^2/ano$) para cada zona térmica da edificação real e de referência, os valores são transformados automaticamente em um valor de carga térmica anual para refrigeração proveniente de toda a edificação (kWh/ano).

b) Ambientes híbridos (1) ou ventilados naturalmente (2)

Deve-se estimar o percentual de horas de conforto térmico atendidas pelo uso da ventilação natural. A estimativa do percentual de horas ocupadas em conforto térmico ($PHOC_T$) deve ser determinada a partir da predição do metamodelo proposto por Rackes *et al.* (2016), que avalia a edificação a partir de 38 dados de entrada relativos aos parâmetros construtivos e dados característicos do arquivo climático referente à cidade na qual o edifício se localiza. Como dado de saída é obtida a fração de horas de desconforto por calor. O método de simulação é recomendado para os casos não compreendidos pelos limites de aplicação do metamodelo. Caso a edificação para a condição real apresente um valor de $PHOC_T$ superior ou igual a 90% no horário de uso da edificação, não é necessário o cálculo da carga térmica interna de refrigeração (CgT) para a condição real e de referência da edificação. Para valores inferiores a 90% de percentual de horas de conforto atendidas pelo uso da ventilação natural, deve-se calcular o CgT para as horas não atendidas de conforto. A carga térmica total anual para as edificações ventiladas naturalmente ou parcialmente ventiladas naturalmente será equivalente ao valor da carga térmica de refrigeração (CgT_{Refrig}) multiplicado pela fração de horas de desconforto por calor em relação às horas de ocupação (BRASIL, 2018).

2.4.1.2. Sistema de Condicionamento de Ar

A avaliação do sistema de condicionamento de ar está dividida em: a) sistemas de condicionamento de ar etiquetados pelo Inmetro; b) sistemas de condicionamento de ar não etiquetados pelo Inmetro.

a) Sistemas de Condicionamento de Ar etiquetados pelo Inmetro

Devem ser observados os seguintes passos:

- Verifica-se a classe de eficiência dos condicionadores de ar etiquetados pelo Inmetro (condicionadores de ar do tipo janela e/ou *split*) na página

eletrônica do Inmetro (<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>). Deve-se adotar a classificação da ENCE obtida nas tabelas do PBE/Inmetro identificando o coeficiente de eficiência energética da máquina;

- Listam-se os condicionadores regulamentados presentes na edificação, e seu respectivo coeficiente de eficiência energética da máquina;
- Calcula-se uma média ponderada entre os diferentes coeficientes de eficiência energética dos equipamentos de acordo com o número de máquinas etiquetadas par cada zona térmica;
- Determina-se a classe alcançada;
- Caso o sistema obtenha classe A, verifica-se o atendimento ao requisito específico de isolamento térmico de tubulações para a condução de fluidos para cada condicionador de ar. Caso o requisito não seja atendido, a nova classificação do sistema alcançará no máximo a classe B.

O valor de COP para a condição de referência (CCA_{REF}) deve ser adotado da página eletrônica do Inmetro (<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>).

b) Sistemas de Condicionamento de Ar não etiquetados pelo Inmetro

Para os sistemas de condicionamento de ar não etiquetados pelo Inmetro, o método simplificado dispõe de duas opções para a determinação da eficiência do sistema:

- Cálculo do SPLV (*System Part Load Value*) do sistema;
O SPLV é a média ponderada da relação do perfil de carga térmica anual sobre o perfil de consumo de energia anual de todo o sistema de condicionamento de ar ao longo do ano, porém de forma simplificada resultante de quatro condições de carga (100%, 75%, 50% e 25%). Vale ressaltar que este procedimento de cálculo pode ser adotado para todos os sistemas de condicionamento de ar não etiquetados pelo Inmetro, exceto *splits*. O procedimento de cálculo e as instruções de uso estão disponíveis em planilha eletrônica em:

http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Planilha_SPLV_CAG.xlsx.

- Utilização dos valores determinados pelas Tabelas B.II.2 a B.II.16 presentes no do Anexo I da Portaria Inmetro N° 248 / 2018.

Para os casos dos sistemas de condicionamento de ar não etiquetados pelo Inmetro, que não apresentarem o cálculo do SPVL para a determinação da eficiência do sistema, um cálculo alternativo deve ser apresentado a partir dos requisitos mínimos de eficiência dos equipamentos, obtidos por meio das tabelas apresentadas no subitem B.II.2.3 do Anexo I da Portaria Inmetro N° 248 / 2018, conforme o tipo de equipamento aplicado. Neste procedimento, a eficiência do sistema deve ser multiplicada pelo fator de ponderação (Fator K), que varia de acordo com o grupo climático (BRASIL, 2018).

2.4.1.3. Sistema de Iluminação

O método simplificado conta com três opções de métodos para avaliar o desempenho do sistema de iluminação artificial de ambientes internos: a) método do edifício completo (aplicável a edifícios com no máximo três atividades principais distintas); b) método das atividades do edifício e c) método da potência ajustada.

a) Método do edifício completo

Avalia de forma conjunta todos os ambientes da edificação e atribui um único valor limite para a avaliação do sistema de iluminação. A avaliação deve-se iniciar com a identificação das atividades principais da edificação e a respectiva densidade de potência de iluminação limite para a condição de referência (DPI_{REF} , ou seja, classe D) e a condição equivalente a classe A (DPI_A). Em seguida determina-se a área iluminada (A_I) da edificação para cada uma das atividades. Essa área é multiplicada pela DPI_{REF} para encontrar a potência limite (P_L). A potência limite para a edificação será a soma das potências limites para cada atividade do edifício. Por fim, a classe da edificação será determinada pelo valor da sua potência instalada total (PI_T), que deve ser menor do que a potência limite da edificação de referência da classe imediatamente inferior, e maior que a da edificação de referência da próxima classe

imediatamente superior. Este método é semelhante ao já existente no RTQ-C (Brasil, 2010), mas traz diminuição em média de 33% nas densidades de potência limite estabelecidas em relação ao regulamento vigente.

b) Método das atividades do edifício

Avalia separadamente os ambientes da edificação ou áreas iluminadas de mesma atividade compostas de mais de um ambiente. Primeiramente, identificam-se as atividades dos ambientes da edificação e determina-se a área iluminada (A_i) da edificação para cada uma das atividades. Em seguida a potência limite total para a condição de referência D, que será equivalente à potência total instalada ($P_{IT_{REF}}$), é determinada. Os sistemas de controle de iluminação são computados, se existentes, e classe da edificação será determinada pelo valor da sua potência instalada total (P_{IT}), que deve ser menor que a potência limite da edificação de referência da classe imediatamente inferior, e maior que a da edificação de referência da próxima classe imediatamente superior. Este método é semelhante ao já existente no RTQ-C (Brasil, 2010), mas traz a alteração nas densidades de potência limite em relação ao regulamento vigente e retira as DPI para as classes B e C. Há atividades nas quais a DPI_L diminuiu e atividades como “banheiros” na qual a DPI_L aumentou. Houve, no entanto, tendência à diminuição das DPI_L limites para classificação.

c) Método da potência ajustada

Esse método só pode ser utilizado complementarmente ao método das atividades do edifício e em situações específicas, sendo: casos em que a iluminação decorativa direcional, complementar à iluminação geral, específica para ressaltar objetos de arte ou exposições, sendo que a iluminação adicional não deve ultrapassar $8,1 \text{ W/m}^2$ para cada espaço, e para equipamentos de iluminação instalados em áreas de vendas onde a iluminação foi projetada para o destaque de produtos. Para a avaliação devem-se identificar as atividades dos ambientes onde se pretende aplicar

o aumento do limite de potência, que pode ser de 20%. Em seguida calcular o índice de ambiente (K) ou o *Room Cavity Ratio* (RCR) para os ambientes selecionados a fim de definir quais valores de densidade de potência de iluminação limite será usado (tabelado ou o encontrado no método de atividades do edifício). Posteriormente, define-se a área iluminada (A_i) e a potência limite da atividade (PL). Então se compara a potência instalada total da condição real e a potência limite total resultante da condição de referência, determinando a classe de eficiência do sistema de iluminação.

Para a obtenção da classe A de iluminação devem ser atendidos requisitos, quando aplicáveis, em pelo menos 80% os ambientes da edificação. E os requisitos devem ser atendidos mesmo que se opte por não computar a economia gerada pelo uso de dispositivos de controle de iluminação. São os requisitos: divisão dos comandos de iluminação, contribuição de luz natural, desligamento automático do sistema de iluminação (BRASIL, 2018).

2.4.1.4. Aquecimento de Água

O consumo de energia necessário para o aquecimento de água em edificações comerciais deve ser obtido a partir de três parcelas principais do sistema de aquecimento de água e do rendimento do equipamento aquecedor de água:

- Energia necessária para aquecimento do volume de água quente consumida nas diversas aplicações e pontos de utilização da edificação;
- Energia gerada para aquecimento de água por sistemas que recuperam calor ou por energia solar térmica, quando existentes na edificação;
- Energia necessária para compensação das perdas térmicas do sistema de distribuição e de armazenamento;
- Rendimento do equipamento aquecedor de água.

Os procedimentos para os cálculos das parcelas de energia e rendimento do equipamento aquecedor de água estão disponíveis no Anexo I da Portaria Inmetro N° 248 / 2018.

Para a obtenção da classe A no sistema de aquecimento de água da edificação em avaliação, deve-se atender aos requisitos de automação para o sistema de recirculação, de controle de acionamento de múltiplos aquecedores e de isolamento térmico de tubulações e reservatórios, quando existentes. O não cumprimento de algum destes requisitos, quando aplicáveis, implica na possibilidade de atingir no máximo a classe B de eficiência energética para a classificação individual do sistema de aquecimento de água (BRASIL, 2018).

As tabelas para a condição de referência de edificações apresentadas no Anexo A da Portaria Inmetro N° 248 / 2018 indicam quais tipologias possuem consumo de água quente significativo para a avaliação do sistema.

2.4.2. Procedimento para a Determinação da Classe de Eficiência Energética da Edificação

A Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) pode ser obtida para todos os sistemas em conjunto (ENCE geral), ou para diferentes combinações entre os sistemas ou somente para a envoltória da edificação (ENCE parcial). A ENCE geral somente pode ser obtida por meio da avaliação de todos os sistemas parciais aplicáveis à edificação.

Para a determinação da eficiência energética da edificação a partir de seu consumo em energia primária, o cálculo considera o consumo total de energia elétrica e térmica da edificação (Equação 1 e 1a) tanto para a edificação real quanto para a de referência.

$$CTE_E = CIL + CCA_E + CAA_E + CEQ - GE_E \quad \text{[Eq.1]}$$

Onde:

CTE_E - Consumo total de energia elétrica (kWh/ano);

CIL - Consumo do sistema de iluminação (kWh/ano);

CCA_E - Consumo de energia elétrica do sistema de condicionamento de ar (kWh/ano);

CAA_E - Consumo de energia elétrica do sistema de aquecimento de água (kWh/ano);

CEQ - Consumo de equipamentos/tomadas (kWh/ano);

GE_E - Geração local de energia elétrica renovável (kWh/ano).

$$CTE_T = CCA_T + CAA_T \quad \text{[Eq.1a]}$$

Onde:

CTE_T - Consumo total de energia térmica (kWh/ano);

CCA_T - Consumo de energia térmica do sistema de condicionamento de ar (kWh/ano);

CAA_T - Consumo de energia térmica do sistema de aquecimento de água (kWh/ano);

A determinação da energia primária é dada pelo somatório do consumo de energia elétrica e/ou térmica com o fator de conversão em energia primária. Desta parcela é retirado o valor obtido através da geração de energia renovável, conforme a Equação 2, apresentada a seguir:

$$CEP = \Sigma(CTE_E \times fcE) + \Sigma(CTE_T \times fcT) \quad \text{[Eq.2]}$$

Onde:

CEP - Consumo de Energia Primária da edificação avaliada (kWh/m².ano)

CTE_E - Consumo Total de Energia Elétrica da edificação avaliada (kWh/m².ano)

CTE_T - Consumo Total de Energia Térmica da edificação avaliada (kWh/m².ano)

fc – Fator de conversão de energia elétrica (fcE) ou térmica (fcT) em energia primária correspondente ao tipo de energia utilizada, conforme apresentado na Tabela 04.

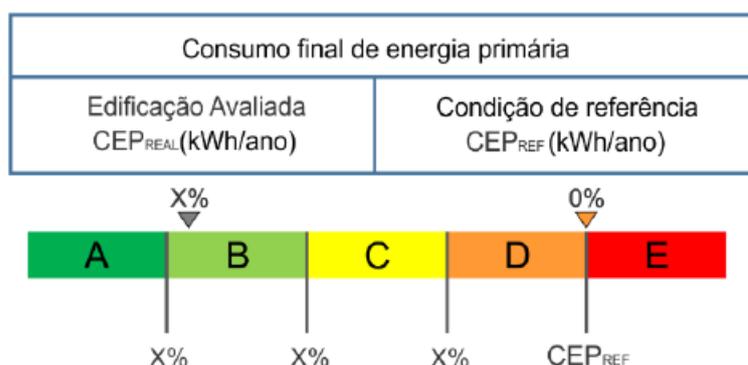
Tabela 04 - Fator de conversão de energia elétrica e térmica em energia primária

Fonte de energia	Fator de conversão	
Energia elétrica	fcE	1,6
Energia térmica – Gás Natural (GN)	fcT	1,1
Energia térmica – Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	fcT	1,1

Fonte: BRASIL, 2018.

Com os valores dos consumos em energia primária, é calculado o percentual de economia da edificação em relação ao nível D de acordo com a Figura 05, e, também é feita a determinação da escala global de eficiência energética da edificação.

Figura 05 - Escala para a determinação da classe de eficiência da edificação avaliada



Fonte: BRASIL, 2018.

Após o cálculo do consumo de energia primária (CEP) da condição real e da condição de referência (CEP_{REF}), devem-se calcular o percentual de redução do consumo de energia primária ($PRCEP_{REAL-D}$) da edificação em sua condição real (CEP), e sua condição de referência (CEP_{REF}), por meio da Equação 3.

$$PRCEP_{REAL-D} = 1 - \frac{CEP}{CEP_{REF}} * 100 \quad [Eq.3]$$

Onde:

$PRCEP_{REAL-D}$ – percentual de redução do consumo de energia primária entre a edificação em sua condição real e condição de referência;

CEP – consumo de energia primária da edificação em sua condição real (kWh/ano);

CEP_{REF} – consumo de energia primária da edificação em sua condição de referência (kWh/ano).

Em seguida, calcula-se o fator de forma (FF) da edificação e obtém o coeficiente de redução do consumo de energia primária da classe D para a classe A ($CRCEP_{D-A}$) por meio de tabelas disponibilizadas no método. Com isso, calcula-se o índice i através da Equação 4 a partir do qual 5 faixas para classificação da edificação são definidas de acordo com a Tabela 04. Por fim, compara-se o consumo de energia primária da edificação (CEP_{REAL-D}) encontrado com os limites definidos pela Tabela 05, identificando a classe de eficiência da edificação em avaliação. Caso a condição real da edificação apresente consumo de energia primária superior à condição de referência, sua classificação final será E.

$$i = \frac{(CEP_{REF} \cdot CRCEP_{D-A})}{3} \quad \text{[Eq.4]}$$

Onde:

i – coeficiente que representa os intervalos entre as classes;

CEP_{REF} – consumo de energia primária da edificação em sua condição de referência (kWh/ano);

$PRCEP_{D-A}$ – coeficiente de redução do consumo de energia primária da classe D para a classe A.

Tabela 05 - Intervalos relativos a cada uma das classes de eficiência energética

Classe de eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	–	$> CEP_{REF} - 3i$	$> CEP_{REF} - 2i$	$> CEP_{REF} - i$	$> CEP_{REF}$
Limite inferior	$< CEP_{REF} - 3i$	$\leq CEP_{REF} - 2i$	$\leq CEP_{REF} - i$	$\leq CEP_{REF}$	–

Fonte: BRASIL, 2018.

2.4.2.1. Procedimento para a Determinação das Escalas e Classe de Eficiência da Envoltória

Para elaborar a escala relativa à classe de eficiência energética da envoltória da edificação, devem ser consideradas a carga térmica total anual da edificação na condição real (Cg_{TREAL}) e de referência (Cg_{TREF}). Em seguida, calcula-se o fator de forma (FF) para obter o coeficiente de redução de carga térmica total anual da

classe D para a classe A ($CRCgT_{D-A}$) analisando também o grupo climático (GCL) no qual a edificação está inserida. Este coeficiente de redução é obtido por meio de tabelas presentes no método e utilizado para definir o intervalo dentro do qual a edificação proposta será classificada (Equação 5), que será ainda subdividido em 3 partes: cada parte se refere a uma classe da escala de eficiência, que varia de A até D (Tabela 06). Por fim, compara-se a carga térmica total anual da edificação em sua condição real (CgT_{TREAL}) obtida com os limites da Tabela 05, identificando a classe de eficiência da edificação em questão. Caso a condição real da edificação apresente carga térmica total anual superior à condição de referência, sua classificação final será E.

$$j = \frac{(CgT_{TREF} \cdot CRCgT_{D-A})}{3} \quad [Eq.5]$$

Onde:

i – coeficiente que representa os intervalos entre classes;

CgT_{TREF} – carga térmica total da edificação em sua condição de referência (kWh/ano);

$CRCgT_{D-A}$ – coeficiente de redução de carga térmica anual da classe D para a classe A.

Tabela 06 - Intervalos relativos a cada uma das classes de eficiência energética do sistema da Envoltória

Classe de eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	–	$> CgT_{TREF} - 3i$	$> CgT_{TREF} - 2i$	$> CgT_{TREF} - i$	$> CgT_{TREF}$
Limite inferior	$< CgT_{TREF} - 3i$	$\leq CgT_{TREF} - 2i$	$\leq CgT_{TREF} - 2i$	$\leq CgT_{TREF}$	–

Fonte: BRASIL, 2018.

2.4.2.2. Procedimento para a Determinação das Escalas e Classe de Eficiência do Sistema de Condicionamento de Ar

Para os sistemas etiquetados pelo Inmetro, a classe é determinada conforme o item 2.4.1.2. Para sistemas não etiquetados pelo Inmetro, o consumo total térmico ou elétrico deve ser convertido em energia primária com base nos fatores de conversão da Tabela 4. Este procedimento deve ser realizado para a condição real (CCA_{PREAL}), e para a condição de referência (CCA_{PREF}).

A classificação da edificação real é obtida por meio do percentual de economia de energia primária em relação à condição de referência (obrigatoriamente fixa na classe D). Os valores de percentual de economia devem ser obtidos por meio da Tabela 07.

Tabela 07 - Percentual de economia em relação à classe D para sistemas com equipamentos não etiquetados pelo Inmetro

Capacidade Total do Sistema (kW)	Percentual de economia em relação à classe D		
	Classe C	Classe B	Classe A
< 40	15	20	30
≥ 40 e < 70	20	25	30
≥ 70 e < 150	20	25	30
≥ 150 < 264	20	25	30
≥ 264 < 528	25	30	35
≥ 528 < 1055	30	35	40
≥ 1055 < 1407	35	40	50
≥ 1407 < 2110	40	45	60
≥ 2110 < 2815	45	50	70
≥ 2815 < 4220	45	50	70
≥ 4220	45	50	70

Fonte: BRASIL, 2018.

2.4.2.3. Procedimento para a Determinação das Escalas e Classe de Eficiência do Sistema de Iluminação

A classe de eficiência energética do sistema de iluminação artificial da edificação é definida a partir do valor resultante da potência instalada total, considerando os sistemas de controle da edificação em sua condição real (PI_T). A potência instalada total da condição de referência D (PI_{TREF}), e da condição que determina a classe A

(PI_{TA}) da escala final devem ser calculadas com base nos valores tabelados do método selecionado para avaliar o desempenho do sistema de iluminação artificial de ambientes internos.

O intervalo entre as classes (i) deve ser dividido em três partes (Equação 6), onde cada parte se refere a uma classe da escala de desempenho que varia de “A” a “D”. Caso a condição real da edificação apresente potência total instalada maior que a condição de referência, sua classificação final será E.

$$j = \frac{PI_{TREF} - PI_{TA}}{3} \quad \text{[Eq.6]}$$

Onde:

i – coeficiente que representa os intervalos entre classes;

PI_{TREF} – potência instalada total considerando-se a condição de referência D do método escolhido;

PI_{TA} – potência instalada total considerando-se a classe A do método escolhido.

Tabela 08 - Intervalos relativos a cada uma das classes de eficiência energética do sistema de iluminação artificial

Classe de eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	–	$> PI_{TREF} - 3i$	$> PI_{TREF} - 2i$	$> PI_{TREF} - i$	$> PI_{TREF}$
Limite inferior	$< PI_{TREF} - 3i$	$\leq PI_{TREF} - 2i$	$\leq PI_{TREF} - i$	$\leq PI_{TREF}$	–

Fonte: BRASIL, 2018.

Com a definição dos intervalos da Tabela 08, o valor da potência instalada total, considerando-se os sistemas de controle da edificação em sua condição real (PI_T), deve ser avaliado identificando a classe de eficiência do sistema para a edificação em avaliação (BRASIL, 2018).

2.4.2.4. Procedimento para a Determinação das Escalas e Classe de Eficiência do Sistema de Aquecimento de Água

O consumo total de energia primária do sistema de aquecimento de água deve ser determinado por meio da Equação 7.

$$E_{AA, \text{tot}} = (fcE * CAA_E) + (fcT * CAA_T) \quad [\text{Eq.7}]$$

Onde:

$E_{AA, \text{tot}}$ é o consumo total de energia primária para aquecimento de água da edificação em sua condição real ($E_{AA, \text{tot}, \text{real}}$ - kWh/ano) e em sua condição de referência ($E_{AA, \text{tot}, \text{ref}}$ - kWh/ano);

fcE é o fator de conversão de energia elétrica para energia primária conforme a Tabela 03;

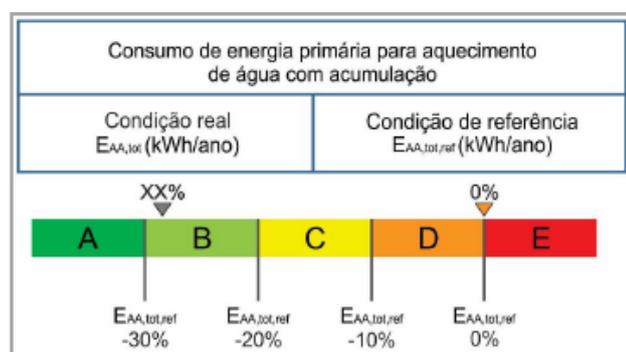
CAA_E é o consumo total para aquecimento de água proveniente de fontes de energia elétrica (kWh/ano);

fcT é o fator de conversão de energia térmica para energia primária conforme a Tabela 03;

CAA_T é o consumo total para aquecimento de água proveniente de fontes de energia térmica (kWh/ano).

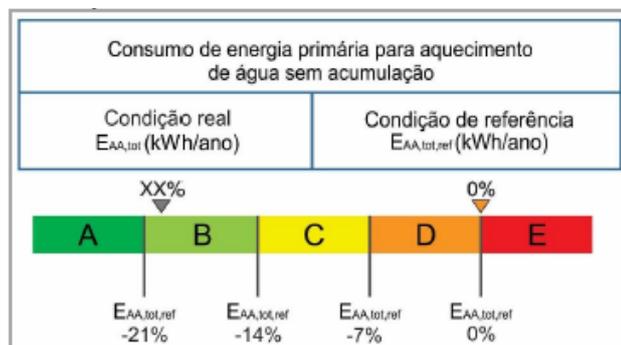
A determinação da classe de eficiência energética do sistema de aquecimento de água depende do tipo de sistema empregado - com acumulação (Figura 06) e sem acumulação (Figura 07), devendo ser realizada a partir da comparação entre o consumo de energia primária necessário para atender a demanda de água quente da edificação em suas condições real ($E_{AA, \text{tot}, \text{real}}$) e a de referência ($E_{AA, \text{tot}, \text{ref}}$).

Figura 06 - Escala para a definição da classe de eficiência do sistema de aquecimento de água com acumulação



Fonte: BRASIL, 2018.

Figura 07 - Escala para a definição da classe de eficiência do sistema de aquecimento de água sem acumulação

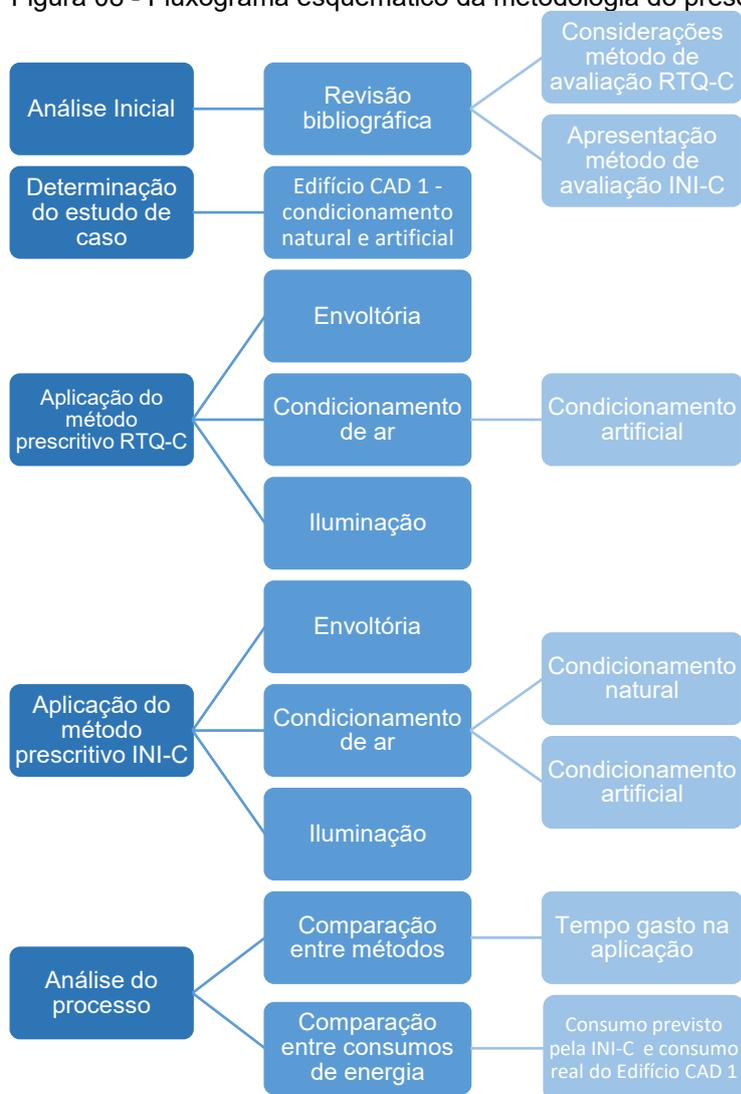


Fonte: BRASIL, 2018.

3. METODOLOGIA

A metodologia para o presente trabalho consiste na aplicação, em um edifício existente, do método prescritivo do RTQ-C, do método simplificado da INI-C e na comparação do consumo de energia elétrica medido com relação ao resultado obtido na INI-C para a avaliação do impacto nas alterações de metodologia e a verificação da precisão do novo método. Foi ainda avaliado o tempo gasto nos procedimentos. Para tal foram realizadas as etapas apresentadas na Figura 08.

Figura 08 - Fluxograma esquemático da metodologia do presente estudo



Fonte: Autora.

3.1. Análise Inicial – Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica apresentada no Capítulo 2 consistiu na primeira etapa metodológica do presente estudo. A partir de artigos científicos foram apontadas considerações sobre o método de avaliação da eficiência energética de edificações presente no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) visando à identificação de lacunas e limitações da avaliação. Em seguida, foi apresentado o método de avaliação proposto na Instrução Normativa Inmetro para edificações comerciais (INI-C) para a compreensão da nova metodologia possibilitando a análise das mudanças ocorridas.

3.2. Determinação do estudo de caso

Para o estudo de caso, foi escolhido um edifício existente do Campus da UFMG. A definição foi pautada pelo sistema de condicionamento de ar, optando em analisar uma edificação que tenha ambientes de permanência prolongada com condicionamento natural e outros ambientes com condicionamento artificial para que fosse possível analisar as diferentes formas de aplicação da avaliação e o impacto da introdução da análise de ambientes com ventilação natural no método simplificado do INI-C. O Quadro 02 a seguir indica as principais características do estudo de caso selecionado.

Quadro 02 - Principais características do Edifício escolhido para estudo de caso

Edifício	Uso	Localização	ZB	Área (m²)	Cond. de ar
Edifício CAD 1	Educacional	Belo Horizonte / MG	3	8.662,00	Condicionamento natural e artificial

Fonte: Autora.

O Edifício CAD 1 não passou por nenhum processo prévio de avaliação de desempenho energético. Para a aplicação dos métodos de avaliação no Edifício

CAD 1 foram utilizados os projetos: arquitetônico, de elétrica / luminotécnico e de ar-condicionado, além de memoriais descritivos e foram feitas visitas técnicas ao local.

O estudo de caso foi descrito no Capítulo 4 – Estudo de Caso, e as análises feitas foram abordadas no Capítulo 5 – Análise dos Resultados e Conclusões.

3.3. Aplicação do método de avaliação presente no RTQ-C

A aplicação do método de avaliação presente no RTQ-C foi realizada no Edifício CAD 1, definido anteriormente, para todos os sistemas em conjunto para obtenção da classificação geral da edificação.

3.3.1. Avaliação do Sistema de Envoltória

Foram utilizados projetos arquitetônicos, memoriais descritivos de acabamentos e visita ao Edifício CAD 1 para definição dos parâmetros necessários à avaliação do sistema de envoltória.

3.3.1.1 Pré-requisitos específicos

A avaliação do sistema de envoltória iniciou-se com a análise dos pré-requisitos do sistema que definem valores limites de transmitância térmica e absorvância térmica de paredes e coberturas, além de limites de fator solar (FS) de vidros e de percentual de abertura zenital (PAZ) para coberturas.

Para os cálculos de transmitância térmica de paredes externas e coberturas, utilizou-se o Anexo da portaria INMETRO Nº 50/ 2013 - Anexo Geral V: Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros, no qual foram selecionadas composições de paredes e coberturas semelhantes às existentes no Edifício CAD 1. Para o cálculo da absorvância térmica das paredes e cobertura utilizou-se o mesmo anexo, que traz dados de revestimentos de paredes e coberturas (tintas) extraídos de Dornelles (2008). Os valores das diferentes parcelas de paredes ou coberturas foram ponderados pelas respectivas áreas que ocupam a fim de se obter um valor médio.

3.3.1.2 Procedimento de cálculo

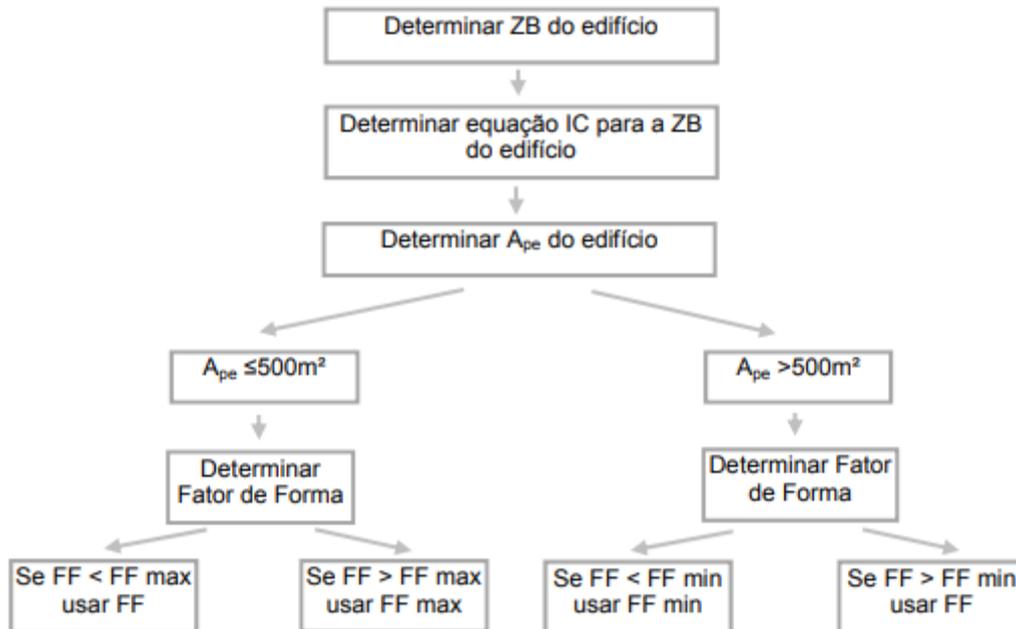
Avaliados os pré-requisitos específicos do sistema de envoltória, partiu-se para o cálculo dos parâmetros presentes na equação de determinação do Indicador de Consumo, sendo esses:

- Fator de Altura (FA) e Fator de Forma (FF);
Considerou-se para o cálculo do FA a área de projeção do Edifício CAD 1 e sua área total. Para o FF, considerou-se a área da envoltória e volume total da edificação.
- Percentual de Abertura na Fachada (PAF);
Calculou-se o PAF de todas as fachadas e obteve-se um valor médio representativo do percentual de aberturas de todas as fachadas. Este foi comparado com o PAF da fachada oeste para definição de qual valor usar na equação.
- Ângulos de Sombreamento;
Considerou-se para o cálculo a proteção solar existente na edificação e o sombreamento que o Edifício CAD 1 faz sobre si mesmo. Os ângulos de sombreamento foram levantados a partir de plantas e cortes da edificação.

3.3.1.3 Determinação da eficiência

Após todos os parâmetros da envoltória terem sido calculados, determinou-se que equação do Indicador de Consumo usar a partir da Zona Bioclimática e da área de projeção do Edifício CAD 1. Em seguida, definiu-se o limite de fator de forma mínimo a ser usado na equação. A Figura 09 apresenta os procedimentos de escolha da equação.

Figura 09 - Fluxograma de escolha da equação do ICenv



Fonte: Brasil, 2010.

Com o Indicador de Consumo obtido, calculou-se o indicador máximo que a edificação deve atingir para obter a classificação D e o indicador mínimo. Esses limites representam o intervalo no qual o Edifício CAD 1 foi inserido, e com isso, sua classe foi definida.

3.3.2. Avaliação do Sistema de Condicionamento de Ar

Para os sistemas de condicionamento de ar etiquetados pelo Inmetro, adotou-se a classificação presente nas tabelas disponibilizadas na página eletrônica do Inmetro (Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>) e o equivalente numérico foi determinado segundo a Tabela 01. Para os demais sistemas se utilizaram os catálogos dos fabricantes para obtenção do valor de eficiência energética e a classe foi determinada a partir da Tabela 5.4A do Anexo da Portaria Inmetro nº372/2010 (Brasil, 2010) que representa o tipo de equipamento adotado no Edifício CAD 1 .

Mesmo o Edifício CAD 1 sendo relativamente novo (sua inauguração ocorreu em 2011), os equipamentos de ar analisados são de 2007/2008 quando muitos

catálogos só tinham em versão impressa e a eficiência energética ainda não era uma informação frequentemente disponibilizada. Assim, foi necessário entrar em contato com fabricantes para obtenção das informações.

Verificou-se o atendimento ao pré-requisito de isolamento térmico do duto de ar para os sistemas de refrigeração existentes. As Tabelas 09 e 10 apresentam como foram categorizados os dados dos equipamentos utilizados no Edifício CAD 1, suas classificações e equivalentes numéricos que ponderados pela capacidade de seus respectivos sistemas, resultou no equivalente numérico final do sistema.

Tabela 09 – Exemplo de tabela para definição das características do Sistema de Condicionamento de Ar (Parte I)

DADOS DOS AMBIENTES		SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR								
		DADOS EQUIPAMENTOS								
Ambiente	Pavto	Fornecedor	Referência Evaporadora	Referência Condens.	Tipo de Equip	Capacidade (KW)	Quant.	KW Total	COP	Condens Ar ou água
Ambiente										
								0,00		

Fonte: Autora.

Tabela 10 – Exemplo de Tabela para cálculo do equivalente numérico do Sistema de Condicionamento de Ar (Parte II)

SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR					PRÉ-REQUISITOS	CLASSIFICAÇÃO FINAL		
DADOS DE REFERÊNCIA					ESPECÍFICOS			
COP LIMITE PARA A	COP LIMITE PARA B	COP LIMITE PARA C	COP LIMITE PARA D	Classif. Parcial	Isolamento térmico para dutos de ar	Classif. Final	Eq. Numérico	Ponderação
								0,00

Fonte: Autora.

3.3.3. Avaliação do Sistema de Iluminação

Para a avaliação do sistema de iluminação foi utilizado o método das atividades do edifício e o levantamento de dados foi a partir do projeto de elétrica / luminotecnica.

Tabelas foram elaboradas no *software* Excel para auxiliar na determinação da eficiência do sistema do estudo de caso (Tabelas 11, 12 e 13). Foram listadas as atividades dos ambientes presentes no Edifício CAD 1, suas respectivas áreas, quantidade de luminárias e potência instalada. Os pré-requisitos foram avaliados de acordo com o nível de eficiência pretendido:

- Nível A – o controle do sistema de iluminação deve atender às características estabelecidas de divisão dos circuitos, contribuição de luz natural e desligamento automático do sistema de iluminação.
- Nível B – o controle do sistema de iluminação deve atender, pelo menos, às características estabelecidas de divisão dos circuitos e contribuição de luz natural.
- Nível C – o controle do sistema de iluminação deve atender, pelo menos, às características estabelecidas de divisão dos circuitos.

Após a classificação final de todos os ambientes, estes receberam seus respectivos equivalentes numéricos e, através de ponderação pela potência instalada, foi determinado o equivalente numérico de iluminação geral do Edifício CAD 1.

Tabela 11 - Cálculo do equivalente numérico do Sistema de Iluminação (Parte I)

DADOS DOS AMBIENTES			SISTEMA DE ILUMINAÇÃO						
INFORMAÇÕES BÁSICAS		GEOMETRIA DO AMBIENTE	DADOS DAS LÂMPADAS E LUMINÁRIAS					CONSUMO	
Atividade	Pavto	Área (m ²)	Potência luminária (W)	Quantidade Luminária	Potência lâmpada (W)	Quantidade de lâmpada por luminária	Dissipação reator(%)	Potência total instalada (W)	DPI (W/m ²)
Ambiente 01	1º								
Ambiente 02	1º								
		0,00						0,00	

Fonte: Autora.

Tabela 12 - Cálculo do equivalente numérico do Sistema de Iluminação (Parte II)

DADOS REFERÊNCIA RTQ-C							
DPI REFERÊNCIA				POTÊNCIA LIMITE			
DPI _L NÍVEL A	DPI _L NÍVEL B	DPI _L NÍVEL C	DPI _L NÍVEL D	P _L NÍVEL A	P _L NÍVEL B	P _L NÍVEL C	P _L NÍVEL D
				0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Autora.

Tabela 13 - Cálculo do equivalente numérico do Sistema de Iluminação (Parte III)

CLASS.	PRÉ-REQUISITOS			CLASSIFICAÇÃO FINAL			
	ESPECÍFICOS						
Classif. Parcial	Atende a divisão de circuitos	Contribuição de luz natural	Desligamento automático	Classif. Parcial	Classif. Final	Eq. Numérico	Ponderação
							0,00

Fonte: Autora.

3.3.4. Determinação da Classe de Eficiência Energética Geral da Edificação: RTQ-C

Com os equivalentes numéricos dos sistemas de envoltória, condicionamentos de ar e iluminação calculados, foi feita a classificação final do Edifício CAD 1 através da Equação 8 a seguir:

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

[Eq.8]

Onde:

EqNumEnv é o equivalente numérico da envoltória;

EqNumDPI é o equivalente numérico do sistema de iluminação;

EqNumCa é o equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar;
EqNumV é o equivalente numérico de ambientes não condicionados e/ou ventilados naturalmente;

APT é a área útil dos ambientes de permanência transitória, desde que não condicionados;

ANC é a área útil dos ambientes não condicionados de permanência prolongada comprovação de percentual de horas ocupadas de conforto por ventilação natural (POC) através do método da simulação;

AC é a área útil dos ambientes condicionados;

AU é área útil;

B é a pontuação obtida pelas bonificações, que varia de zero a 1.

Os equivalentes numéricos para os níveis de eficiência de cada sistema individual foram obtidos na Tabela 01. O número de pontos obtidos na Equação 8 definiu a classificação geral da edificação, de acordo com a Tabela 02.

Além dos pré-requisitos específicos de cada sistema, foi avaliado o atendimento aos pré-requisitos gerais para o Edifício CAD 1 manter a classificação alcançada na pontuação final, sendo aplicável a este possuir circuito elétrico separado por uso final: iluminação, sistema de condicionamento de ar, e outros; ou possuir instalado equipamento que possibilite medição por uso final.

Foi analisado, também, se o Edifício CAD 1 possui iniciativas que aumentem a eficiência energética da edificação listadas entre as bonificações, sendo essas: sistemas e equipamentos que racionalisem o uso de água, sistemas ou fontes renováveis de energia, sistemas de cogeração e inovações técnicas ou de sistemas. Com isso, obteve-se a classificação geral de eficiência energética do Edifício CAD 1.

3.4. Aplicação do método simplificado de avaliação da INI-C

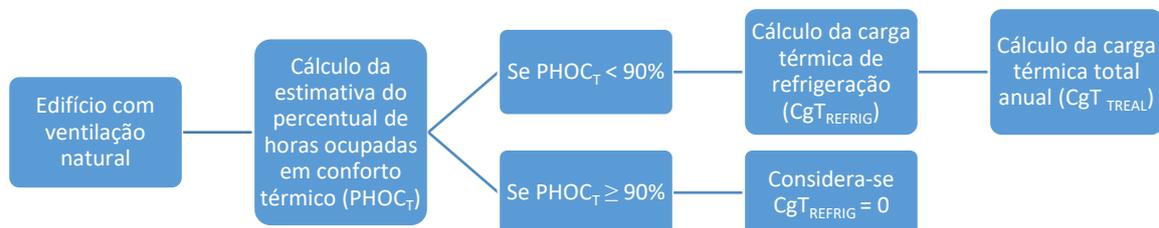
Assim como o método prescritivo presente no RTQ-C, a aplicação do método simplificado de avaliação presente na Instrução Normativa Inmetro (INI-C) foi realizada no Edifício CAD 1 definido anteriormente para todos os sistemas em conjunto para obtenção da classificação geral da edificação. Todas as etapas

apresentadas a seguir foram realizadas tanto para a condição real da edificação, quanto para a condição de referência.

3.4.1. Avaliação do Sistema de Envoltória

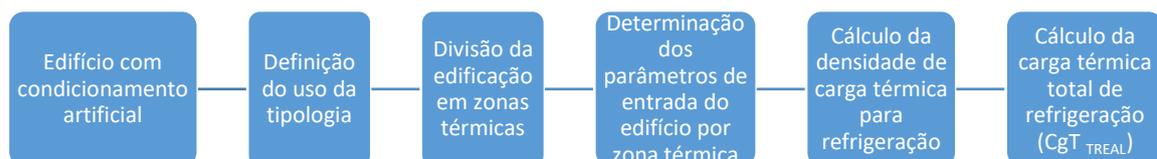
A avaliação do sistema de envoltória foi feita conforme etapas apresentadas nas Figuras 10 e 11 a seguir, que se diferenciam de acordo com o condicionamento de ar da edificação.

Figura 10 - Fluxograma esquemático das etapas de avaliação da envoltória para edificações com ventilação natural



Fonte: Autora.

Figura 11 - Fluxograma esquemático das etapas de avaliação da envoltória para edificações com condicionamento artificial



Fonte: Autora.

3.4.1.1. Percentual de Horas de Conforto Térmico (PHOC_T)

Para ambientes com condicionamento natural foi feito o cálculo da estimativa do percentual de horas ocupadas em conforto térmico por meio de uma interface *online* disponibilizada pelo PBE Edifica e criada a partir do metamodelo de Rackes *et al.* (2016), (Disponível em: http://staging_redes.pbeedifica.com.br/naturalconfort/) porém

tal interface ainda está em desenvolvimento e apresenta apenas três cidades para o cálculo, sendo São Paulo - SP, Brasília - DF e Florianópolis SC. Com isso, foi utilizada o *software* Python 2.7 (PSF, 2010) para aplicação do metamodelo de Rackes *et al.*. (2016) desenvolvido para tal predição.

Ao fazer *download* do programa *Natural Comfort* (Disponível em: <http://bseg.cae.drexel.edu/natural-comfort-a-new-early-stage-design-tool/>) é disponibilizado um Guia do Usuário que explica como o programa funciona e descreve os parâmetros necessários para a entrada. São utilizados 38 parâmetros de entrada (Tabela 14) no metamodelo para o cálculo do $PHOC_T$, sendo que os nove primeiros são referentes aos dados do arquivo climático da cidade onde se localiza a edificação e os demais se referem a parâmetros construtivos, de carga interna da edificação e sobre a ventilação na área onde está a edificação. Alguns valores são fixos e definidos no texto da INI-C. Os arquivos climáticos utilizados foram os disponibilizados no metamodelo de Rackes *et al.*. (2016) e correspondem à arquivos INMET recolhidos no ano de 2015.

Os parâmetros construtivos foram determinados a partir dos projetos arquitetônicos e de informações presentes em memoriais do Edifício CAD 1. A partir da definição dos 38 parâmetros de entrada foi utilizado o *software* Python 2.7 (PSF, 2010) para aplicação do metamodelo de Rackes *et al.*. (2016) e obtenção, como dado de saída, da fração anual de horas de desconforto por calor. Com isso, calculou-se a estimativa do percentual de horas ocupadas em conforto térmico ($PHOC_T$).

Tabela 14 – Parâmetros analisados no metamodelo de Rackes *et al.* (2016) e seus valores de referência

Parâmetro	Dados de entrada no metamodelo	Unidade	Valores	
			Mínimo	Máximo
1	Temperatura média externa anual (T_{ar})	°C	10	30
2	Média anual das diferenças entre as temperaturas máximas e mínimas de cada dia (T_{arMD})	°C	3	15
3	Diferença entre o valor máximo e mínimo das temperaturas externas anuais (T_{arMA})	°C	3	28
4	Graus-dia de arrefecimento para temperatura base de 18°C (CDD18)	K.dia	0	3800
5	Graus-dia de arrefecimento para temperatura base de 25°C (CDD25)	K.dia	0	1600
6	Média anual da radiação solar direta normal (MRDR)	W/m ²	40	200
7	Média anual da radiação solar difusa no plano horizontal (MRDH)	W/m ²	70	130
8	Velocidade média do ar externo anual (VMV)	m/s	0	50
9	Altitude	m	0	3000
10	Comprimento total	m	13	200
11	Profundidade total	m	8	50
12	Altura entre pavimentos	m	2,75	4,25
13	Número de pavimentos	-	1	5
14	Área média dos ambientes	m ²	9	400
15	Relação área de escada / área do edifício	-	0	0,28
16	Fração de abertura fachada	-	0,05	0,7
17	Ângulo médio de sombreamento vertical médio	°	0	45
18	Absortância solar média das paredes externas	-	0,2	0,8
19	Transmitância térmica média das paredes externas	W/m ² .K	0,1	5,0
20	Capacidade térmica média das paredes externas	KJ/m ² .K	40	500
21	Absortância solar média da cobertura	-	0,2	0,8
22	Transmitância térmica média da cobertura	W/m ² .K	0,1	5,0
23	Capacidade térmica média da cobertura	KJ/m ² .K	10	400
24	Coefficiente de ganho solar do vidro	-	0,2	0,8
25	Transmitância térmica do vidro	W/m ² .K	1,0	6,0
26	Densidade de potência iluminação e equipamentos	W/m ²	1	25
27	Densidade de potência iluminação e equipamentos para áreas de circulação	W/m ²	1	15
28	Número de ocupantes por m ²	ocup./m ²	0,01	1,00
29	Hora de abertura do prédio	h	6	10
30	Hora de fechamento do prédio	h	14	22
31	Fator de correção da velocidade do ar	-	0,10	0,40

	externo			
32	Obstáculo do entorno	-	0,3	1
33	Média da fração máxima de abertura de todas as janelas	-	0,2	1,0
34	Fração de abertura da fachada das janelas destinadas à ventilação noturna (abertas 24h)	-	0	0,17
35	Relação entre a largura e a altura das janelas primárias	-	0,1	50
36	Coefficiente de descarga das janelas primárias	-	0,4	0,8
37	Área efetiva de vazão entre os espaços ocupados e as áreas de permanência compartilhada, por comprimento de parede compartilhada	-	0,0001	0,4
38	Incremento da velocidade do ar a partir de ventiladores de teto	m/s	0	0,9

Fonte: Autora a partir de Rackes *et al.* (2016).

3.4.1.2. Definição do uso da tipologia

A definição do uso da tipologia do Edifício CAD 1 foi feita a partir do Anexo A da Portaria Inmetro N° 248 / 2018 (BRASIL, 2018) o qual determina os valores a serem seguidos para a condição de referência conforme as diferentes tipologias de edificações comerciais, sendo:

- Edificações de escritório;
- Edificações educacionais: ensino médio, fundamental e superior;
- Edificações de hospedagem: pequenas, médias e grandes;
- Edificações hospitalares: clínicas e hospitais;
- Edificações de varejo: lojas, lojas de departamento e shopping center;
- Edificações de varejo: mercados;
- Edificações de alimentação: restaurantes e praças de alimentação;

Para o Edifício CAD 1, utilizou-se a Tabela 15 referente a edificações educacionais apresentada a seguir:

Tabela 15 - Valores de referência para edificações educacionais

Uso típico	Edificações educacionais			
	Condição real	Condição de referência		
		Educação infantil	Ensino fundamental e médio	Ensino superior
Geometria				
Forma	Condição real			
Orientação solar (°)	Condição real			
Pé-direito (m)	Condição real			
Aberturas				
PAF – Percentual de aberturas nas fachadas (%)	Condição real	40		
PAZ – Percentual de abertura zenital (%)	Condição real	0		
Componentes construtivos				
<i>Paredes</i>	Condição real	Argamassa interna (2,5cm), bloco cerâmico furado (9 cm), argamassa externa (2,5 cm)		
Upar – Transmitância da parede externa (W/m ² .K)	Condição real	2,39		
α_{par} – Absortância da parede	Condição real	0,5		
CTpar – Capacidade térmica da parede (KJ/m ² .K)	Condição real	150		
<i>Cobertura</i>	Condição real	Telha de fibrocimento, câmara de ar (>5 cm) e laje maciça de concreto (10 cm)		
Ucob – Transmitância da cobertura (W/m ² .K)	Condição real	2,06		
α_{cob} – Absortância da cobertura	Condição real	0,8		
CTcob – Capacidade térmica da cobertura (KJ/m ² .K)	Condição real	233		
<i>Vidro</i>	Condição real	Vidro simples incolor 6 mm		
FS – Fator solar do vidro	Condição real	0,82		
Uvid – Transmitância do vidro (W/m ² .K)	Condição real	5,7		
AHS – Ângulo horizontal de sombreamento (°)	Condição real	0		
AVS – Ângulo vertical de sombreamento (°)	Condição real	0		
AOV – Ângulo de obstrução vertical (°) *	Condição real	Condição real		
Iluminação e Ganhos				
DPI – Densidade de potência de iluminação (W/m ²) **	Condição real	15,5 ***		
Ocupação (m ² /pessoa)	Condição de referência	2,5	1,5	1,5
DPE – Densidade de potência de equipamentos (W/m ²)	Condição de referência	15,0	9,7	9,7
Horas de ocupação (h)	8			
Dias de ocupação (N _{ano}) ****	200			
Condição do piso	Condição real			
Condição da cobertura	Condição real			
Isolamento do piso	Condição real	Sem isolamento		

Condicionamento de Ar (refrigeração)		
COP – Coeficiente de performance (W/W)	Condição real	2,60
Temperatura <i>setpoint</i> (°C)		24,0
Aquecimento da água *****		

* A utilização do ângulo de obstrução vertical (AOV) é opcional e deve seguir as diretrizes do RAC.

** Caso a avaliação seja realizada somente para a envoltória, deve-se adotar na condição real a mesma densidade de potência de iluminação (DPI) da condição de referência.

*** Adotar este valor para a avaliação parcial da envoltória e para a utilização do método do edifício completo (Subitem C.II.2). Para o método da atividade dos edifícios e o método da potência ajustada, devem ser adotados os valores de potência de iluminação limite (DPIL) para a classe D.

**** Os dias de ocupação desta tipologia foram calculados com base na média de dias úteis por ano, excluindo-se os meses de férias, feriados nacionais e fins de semana.

***** Tipologia com consumo de água quente não significativo para a avaliação do sistema.

Fonte: Brasil, 2018.

3.4.1.3. Divisão da edificação em zonas térmicas

Após a definição da tipologia, as zonas térmicas foram divididas. Vale ressaltar que áreas de permanência transitória não são consideradas na divisão. A partir disso, foram identificadas as áreas de permanência prolongada e de permanência transitória para em seguida, se dividir as zonas térmicas.

A divisão das zonas térmicas seguiu o que foi determinado no texto da INI-C (BRASIL, 2018), sendo as zonas perimetrais limitadas a 4,50m de profundidade e as zonas térmicas internas são localizadas em espaços acima dos 4,50m de profundidade com relação à parede externa. As zonas térmicas foram ainda separadas em locais onde houve mudanças:

- No padrão de ocupação do ambiente;
- No tipo e/ou especificações técnicas do sistema de condicionamento de ar;
- Na densidade de potência em iluminação e de equipamentos (DPI e DPE);

Além disso, separaram-se as zonas térmicas em espaços em contato com ambientes não condicionados artificialmente.

3.4.1.4. Determinação dos parâmetros

Após a divisão das zonas térmicas do Edifício CAD 1, foram definidos os parâmetros de entrada que se referem às propriedades térmicas e geométricas da envoltória. São esses parâmetros:

- Área da zona térmica (m^2);
- Tipo de zona térmica (perimetral / interna);
- Se existe contato com o solo;
- Se a cobertura é voltada para o exterior;
- Existência de isolamento térmico no piso;
- Orientação solar;
- Horas de ocupação por dia (horas);
- Densidade de potência de equipamentos (kWh/m^2);
- Densidade de potência de iluminação (kWh/m^2);
- Percentual de abertura de fachada;
- Fator Solar;
- Transmitância térmica do vidro, cobertura e paredes externas (W/m^2K);
- Absortância solar da cobertura e paredes externas;
- Pé-direito (m);
- Ângulo horizontal de sombreamento;
- Ângulo vertical de sombreamento;
- Ângulo de obstrução vertical;
- Capacidade térmica da cobertura e paredes externas (kJ/m^2K).

Foram utilizados projetos arquitetônicos, memoriais descritivos de acabamentos e projeto de elétrica / luminotécnica para definição dos parâmetros. Para os cálculos de transmitância térmica e capacidade térmica de paredes externas e coberturas, utilizou-se o Anexo da portaria INMETRO Nº 50/ 2013 - Anexo Geral V: Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros, no qual foram selecionadas composições semelhantes às existentes no edifício em análise. Para o cálculo da absortância térmica das paredes e cobertura utilizou-se o mesmo anexo, que traz dados de revestimentos de paredes e coberturas (tintas) extraídos de Dornelles

(2008). Os valores das diferentes parcelas de paredes ou coberturas foram ponderados pelas respectivas áreas que ocupam a fim de se obter um valor médio. Os ângulos de sombreamento e obstrução foram levantados a partir de plantas e cortes das edificações.

3.4.1.5. Cálculo da carga térmica total de refrigeração

Após o levantamento dos parâmetros, estes foram inseridos na interface do metamodelo disponibilizado pelo PBE Edifica (Disponível em: http://pbeedifica.com.br/redes/comercial/index_with_angular.html#). Ao inserir os dados na interface é preciso escolher a cidade onde se encontra a edificação. Até o momento, a interface conta apenas com as capitais dos estados brasileiros. Os dados foram inseridos também para a condição de referência. Cabe apontar que a interface não salva as informações inseridas nem os dados de saída.

Os valores anuais de densidade de carga térmica para refrigeração (DCgT) para cada uma das zonas de análise foram obtidos por meio de redes neurais artificiais como dados de saída. O mesmo foi feito com os valores tabelados pelo INI-C para a edificação de referência.

3.4.1.6. Cálculo da carga térmica total anual da envoltória

Os valores de densidade de carga térmica para refrigeração (DCgT) obtidos foram transformados automaticamente em um valor de carga térmica anual para refrigeração (CgT_T) proveniente de toda a edificação (kWh/ano) através da multiplicação pela área (m²) de cada zona térmica.

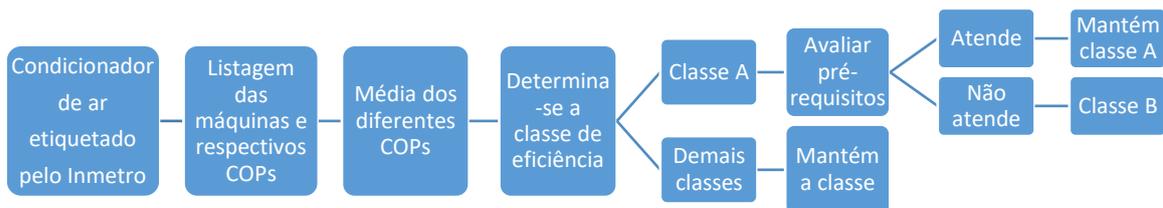
3.4.2. Avaliação do Sistema de Condicionamento de Ar

Para calcular o consumo total de energia do sistema de ar-condicionado, o valor da carga térmica total anual (CgT_T) encontrado na avaliação do sistema de Envoltória foram divididos pela eficiência energética do sistema condicionamento de ar.

Para os sistemas de condicionamento de ar etiquetados pelo Inmetro, o valor de eficiência energética usado correspondeu ao valor do coeficiente de *performance* (COP) determinado nas tabelas disponibilizadas na página eletrônica do Inmetro (Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>). Para os demais sistemas utilizaram-se os catálogos dos fabricantes para obtenção do valor de eficiência energética. As Figuras 12 e 13 apresentam, de maneira esquemática, as etapas para avaliação do condicionamento de ar até a classificação do nível de eficiência obtido.

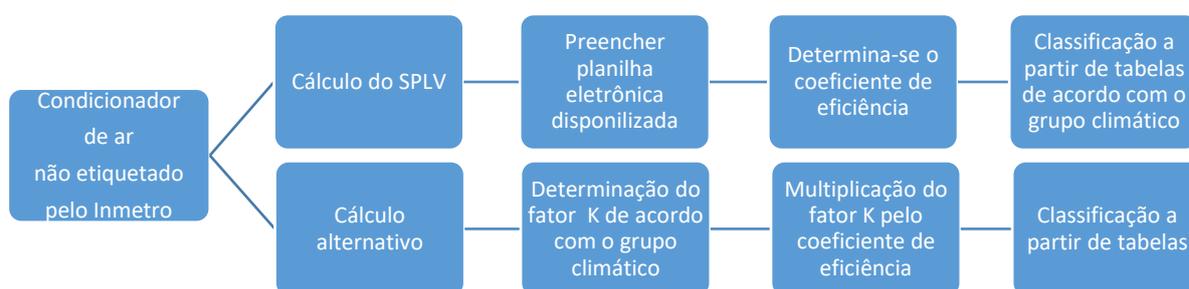
Vale ressaltar, que para a classificação geral do edifício não precisa realizar todas as etapas apontadas, sendo necessária a obtenção do coeficiente de eficiência do sistema. Como no Edifício CAD 1 há diferentes equipamentos de ar-condicionado, o consumo energético foi determinado separadamente para cada um dos sistemas.

Figura 12 - Fluxograma esquemático das etapas de avaliação do sistema de ar-condicionado etiquetado pelo Inmetro



Fonte: Autora.

Figura 13 - Fluxograma esquemático das etapas de avaliação do sistema de ar-condicionado não etiquetado pelo Inmetro



Fonte: Autora.

3.4.3. Avaliação do Sistema de Iluminação

Para a avaliação do sistema de iluminação foi utilizado o método das atividades do edifício e o levantamento de dados foi a partir do projeto de elétrica / luminotecnica.

3.4.3.1. Cálculo da potência total instalada

Uma tabela foi elaborada no *software* Excel para o cálculo da potência total instalada da edificação determinada para o estudo (Tabela 16). Na primeira coluna foram listadas todas as atividades dos ambientes presentes no Edifício CAD 1. Em outra coluna foram inseridas as áreas iluminadas (m²) por cada uma das atividades. Na terceira coluna foi informado o número de luminárias de todos os ambientes, seguido pelo número de lâmpadas por luminária e a potência de cada lâmpada.

Tabela 16 - Cálculo da potência total instalada do Sistema de Iluminação

DADOS DOS AMBIENTES			SISTEMA DE ILUMINAÇÃO						
INFORMAÇÕES BÁSICAS		GEOMETRIA DO AMBIENTE	DADOS DAS LÂMPADAS E LUMINÁRIAS					CONSUMO	
Atividade	Pavto	Área (m ²)	Potência luminária (W)	Quantidade Luminária	Potência lâmpada (W)	Quantidade de lâmpada por luminária	Dissipação reator(%)	Potência total instalada (W)	DPI (W/m ²)
Ambiente 01	1º								
Ambiente 02	1º								
		0,00						0,00	

Fonte: Autora.

Com isso, foi possível calcular a potência total instalada do Edifício CAD 1. O valor encontrado (W) foi multiplicado pelo número de horas em funcionamento por dia e pelo número de dias utilizado no ano. Assim, obteve-se o consumo do sistema de iluminação em KWh/ano.

3.4.4. Avaliação do Sistema de Aquecimento de Água

O sistema de aquecimento de água não requer avaliação visto que não se aplica ao Edifício CAD 1 por não haver consumo de água quente significativo.

3.4.5. Determinação da Classe de Eficiência Energética Geral da Edificação: INI-C

O consumo total de energia da edificação foi encontrado a partir do somatório do consumo do sistema de iluminação, do sistema de condicionamento de ar e do consumo de equipamentos / tomadas. Esse último foi determinado através de valor fixo definido para as tipologias em análise na INI-C. O consumo de aquecimento de água não é aplicável no edifício em estudo, conforme mencionado anteriormente. No Edifício CAD 1 também não há geração de energia renovável.

O consumo total final da edificação deve ser expresso em energia primária. Para isso, utilizou-se o fator de conversão de energia elétrica para energia primária, definido na INI-C (BRASIL, 2018).

A partir do consumo final em energia primária para a edificação real e de referência, foi definido o intervalo de cada uma das classes de eficiência energética e obteve-se a classificação final do Edifício CAD 1.

3.5. Análise do processo

Nessa etapa, foi possível avaliar o processo de aplicação do novo método e suas implicações. Foram analisadas as mudanças ocorridas e os impactos gerados, sendo também analisado se as considerações e limitações apontadas pelos trabalhos citados no item 2.3 sobre o método prescritivo presente no RTQ-C foram resolvidas e como ocorreu.

3.5.1. Tempo necessário para a análise

O tempo gasto para a aplicação dos métodos de avaliação presentes no RTQ-C e na INI-C foi computado para análise comparativa. Foram considerados desde os procedimentos para familiarização com os projetos, uso das interfaces *online*, cálculos dos parâmetros de entrada, obtenção dos dados de saída e resultados.

3.5.2. Comparação de consumo

A partir do consumo anual de energia elétrica (KWh/ano) previsto pelo método de avaliação do INI-C, fez-se uma comparação com o consumo anual de energia elétrica real do Edifício CAD 1 (KWh/ano) dos anos de 2015, 2016, 2017 e 2018.

O Estudo de Caso é descrito a seguir e as avaliações realizadas e análise dos resultados serão descritas no Capítulo 5 – Análise dos Resultados e Discussões.

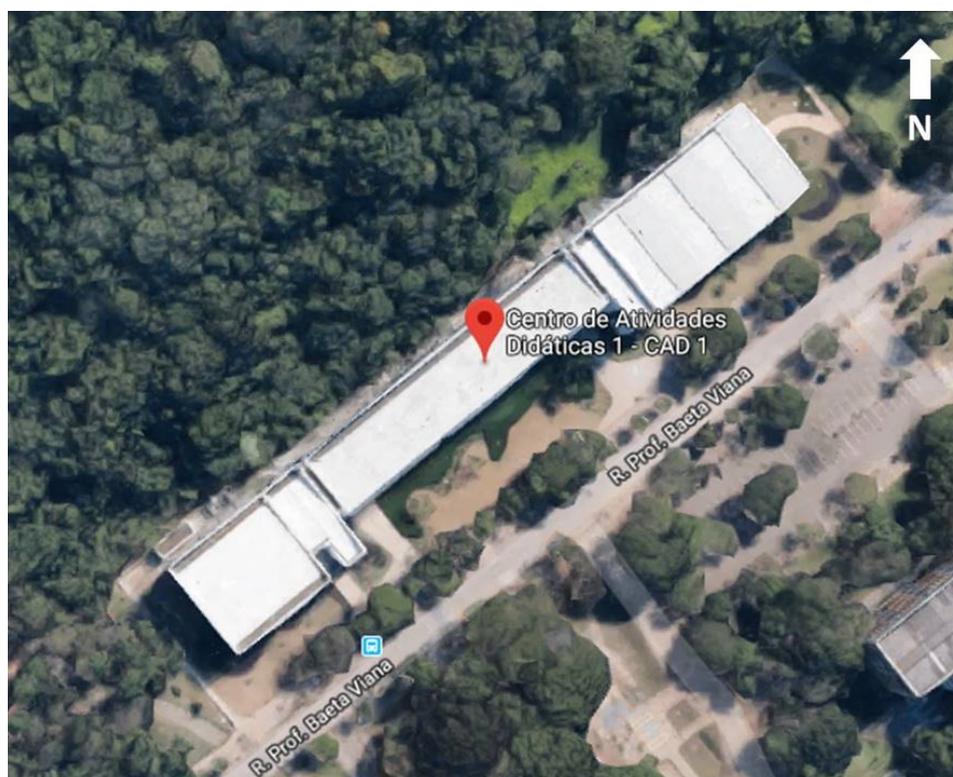
4. ESTUDO DE CASO

Conforme abordado no Capítulo 3, foi determinado um edifício para a aplicação dos métodos de avaliação de eficiência energética em edificações, sendo o método presente no RTQ-C e o proposto na INI-C. O edifício selecionado é apresentado a seguir.

4.1. Edifício CAD 1 – UFMG

O Edifício do Centro de Atividades Didáticas 1 (CAD 1), inaugurado em 2011, está localizado no campus da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG (Figura 14) na cidade de Belo Horizonte – MG, cuja Zona Bioclimática é 3 (ABNT, 2003). A área total construída é de 8.662,00m² ocupando um terreno de 9.750,00m².

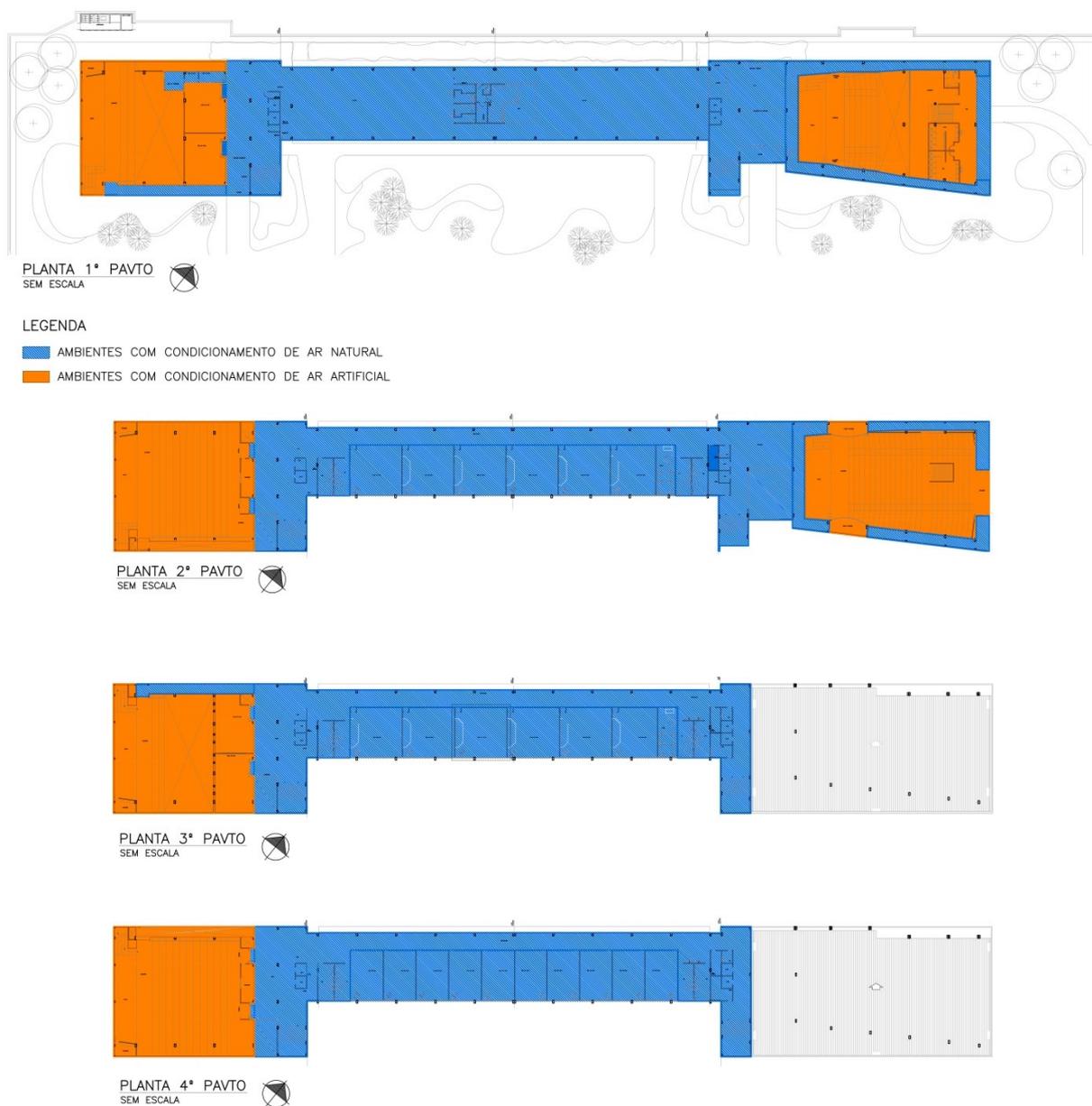
Figura 14 - Implantação do Edifício CAD 1



Fonte: Google Maps (2018), alterado pela autora.

A edificação apresenta quatro pavimentos e sua volumetria é dividida em três blocos paralelepípedicos. Nos dois blocos das extremidades encontram-se auditórios cujo condicionamento de ar é artificial, sendo dois auditórios com capacidade de 210 pessoas cada um e o terceiro auditório com capacidade para 700 pessoas. O bloco central é constituído por salas de aulas e salas de apoio às atividades acadêmicas e esta área é condicionada naturalmente. Os tipos de condicionamento de ar são apresentados na Figura 15.

Figura 15 - Áreas com condicionamento de ar natural e artificial do Edifício CAD 1



Fonte: Autora.

São condicionadas artificialmente quatro Salas de Aulas e a Sala de Administração, que contam com equipamentos do tipo Split, além dos Auditórios 1, 2 e 3 que possuem sistema Multi Split.

As principais fachadas estão orientadas a Noroeste – Sudeste (NO – SE) e podem ser vistas nas Figuras 16 e 17. A fachada principal (SE) que dá para as salas de aula apresenta brises horizontais que proporcionam sombreamento. Do lado oposto (NO), há um corredor "varanda", sem fechamento, decorrente da organização dos espaços de ensino em um único lado criando um espaço de transição feito pela circulação que protege a parede das salas de aula da radiação solar direta.

Figura 16 - Fachada lateral esquerda e fachada frontal, respectivamente, do Edifício CAD 1



Fonte: Galeria da Arquitetura.

Figura 17 - Fachada lateral direita e fachada posterior, respectivamente, do Edifício CAD 1

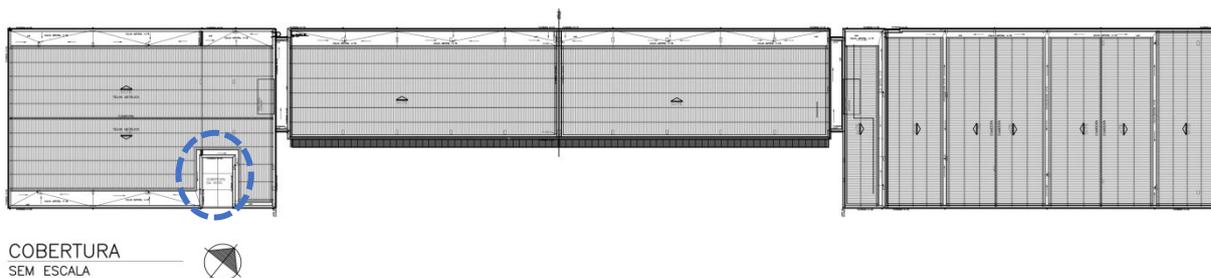


Fonte: Galeria da Arquitetura.

A edificação possui como composição das superfícies externas a estrutura de concreto e alvenaria em blocos cerâmicos. O aspecto dessas superfícies é rugoso e apresenta-se nas cores branco, azul e amarelo claro. Há superfícies externas com

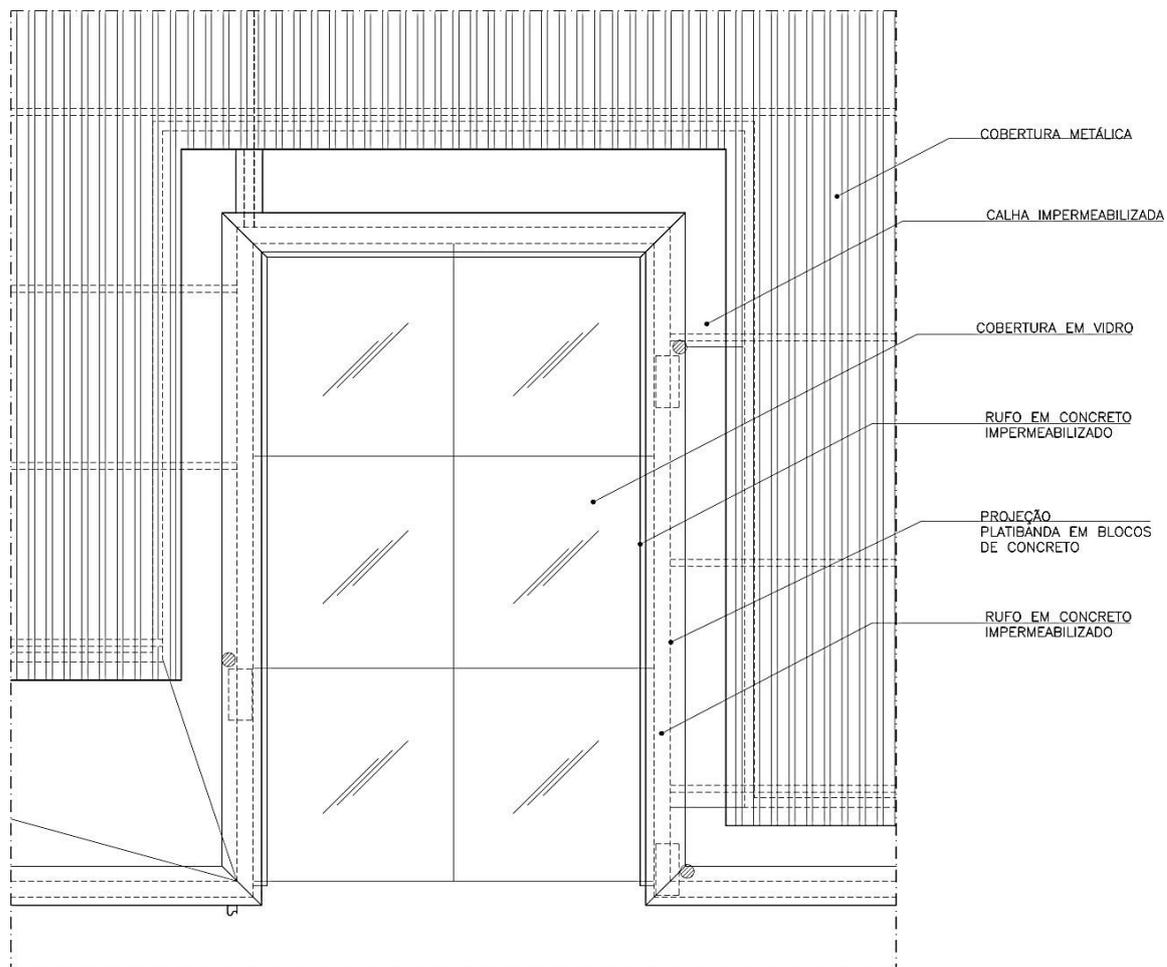
pele de vidro e aberturas com esquadrias de alumínio. O vidro utilizado é do tipo laminado fumê nas fachadas de pele de vidro, enquanto nas aberturas em esquadrias é tipo simples incolor. A cobertura é composta por telhas metálicas pintadas na cor branco (Figura 18), e há uma pequena área com cobertura em vidro (Figura 19).

Figura 18 – Planta de Cobertura do Edifício CAD 1



Fonte: Departamento de Planejamento Físico e Projetos DPFP-UFMG.

Figura 19 – Planta da Cobertura de Vidro do Edifício CAD 1



COBERTURA DE VIDRO
SEM ESCALA

Fonte: Departamento de Planejamento Físico e Projetos DPFP-UFMG.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES

O Capítulo 5 – Análise dos Resultados e Discussões apresenta os resultados alcançados neste estudo e a discussão de seus impactos. Primeiramente, são apresentados os resultados da aplicação do método de avaliação do nível de eficiência energética do RTQ-C. Em seguida, os resultados obtidos com a aplicação do método de avaliação da INI-C. Estes resultados são comparados e são discutidas as alterações existentes, seus impactos e viabilidade, e o tempo de aplicação de cada procedimento.

5.1. Resultados da aplicação do método do RTQ-C

5.1.1. Sistema de Envoltória

A partir do projeto arquitetônico, detalhamento de esquadrias, caderno de especificação e visita ao local, foi realizada a avaliação da envoltória do Edifício CAD 1 que se iniciou com a avaliação dos pré-requisitos, seguida dos cálculos e determinação da eficiência do sistema.

5.1.1.1. Pré-requisitos

Para a avaliação dos pré-requisitos utilizou-se o Anexo da portaria INMETRO Nº 50/2013 - Anexo Geral V: Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros, no qual foram selecionadas composições de paredes e coberturas semelhantes às existentes no Edifício CAD 1 que são apresentadas nas Tabelas 17 e 18.

Tabela 17 - Transmitância térmica das superfícies externas

Componente	Composição	Transmitância Térmica média (U) (W/m²)	Valor limite máximo para nível A RTQ-C	Nível de eficiência do pré-requisito (ZB 03)
Paredes	Reboco e emassamento interno, tijolos cerâmicos de 14 x 19 x 29 cm, reboco sem emassamento, pintura.	1,85	3,70	A
Cobertura	Telha metálica de aço galvanizado (e=0,6 mm), câmara de ar, laje alveolar (e=45 cm, sendo 6+33+6) e forro.	0,55	1,00 para ambientes condicionados artificialmente e 2,00 para ambientes não condicionados	A
	Telha metálica de aço galvanizado (e=0,6 mm), câmara de ar, laje de concreto (e=25 cm) e forro.			
	Telha metálica de aço galvanizado (e=0,6 mm), câmara de ar, laje alveolar (e=72 cm) e forro.			

Fonte: Autora.

Tabela 18 - Absortância térmica das superfícies externas

Componente	Composição	Absortância média	Valor limite máximo para nível A RTQ-C	Nível de eficiência do pré-requisito (ZB 03)
Paredes	Tinta acrílica, acabamento fosco, cor branco gelo.	0,424	0,5	A
	Cor amarelo: Tinta acrílica, acabamento fosco.			
	Cor cinza: Tinta acrílica, acabamento fosco.			
Cobertura	Telhas metálicas trapezoidais de aço galvanizado, pós pintada nas faces interna e externa na cor marfim, referência MF 40 METFORME.	0,336	0,5	A

Fonte: Autora.

O percentual de abertura zenital (PAZ) correspondeu a menos de 1%, assim o fator solar do vidro (FS) deve ser inferior a 0,87 para que o pré-requisito seja atendido, o que ocorreu, já que o FS encontrado é 0,58.

5.1.1.2. Indicador de Consumo da Envoltória (ICenv)

As variáveis FA, FF, PAFT, AHS e AHV foram calculadas de acordo com as informações disponibilizadas no projeto arquitetônico. O FS, por sua vez, foi identificado após a consulta ao memorial descritivo do projeto. A Tabela 19 indica os valores determinados para cada variável.

Tabela 19 - Parâmetros resultantes da avaliação do Sistema de Envoltória - RTQ-C

Variável		Valor calculado
Apcob	FA	0,606
Atot		
Aenv	FF	0,196
Vtot		
PAF _T		0,10
PAF _O		0,00
FS		0,58
AVS		45
AHS		0

Fonte: Autora.

Visto que a edificação se encontra na ZB03 e a Ape é maior que 500m² (2.626,59m²), a equação para cálculo do ICenv foi determinada e o indicador de consumo definido. A partir de valores definidos no regulamento, obteve-se o indicado de consumo mínimo (IC_{MIN}) e o indicador de consumo máximo (IC_{MÁXD}). Esses limites representam o intervalo dentro do qual o Edifício CAD 1 deve se inserir. O intervalo foi dividido em 4 partes (i) que se refere a um nível de classificação, já que a escala de desempenho varia de A a E (Tabela 20). Assim, os intervalos foram preenchidos e a classificação do sistema de envoltória foi determinada, conforme Tabela 21.

Tabela 20 - Parâmetros do ICenv

ICenv	58,34
IC_{MIN}	71,36
IC_{MÁXD}	98,05
$i = (IC_{máxD} - IC_{mín}) / 4$	6,67185

Fonte: Autora.

Tabela 21 - Limites dos intervalos dos níveis de eficiência para o Sistema de Envoltória – RTQ-C

Eficiência	A	B	C	D	E
Lim mín	-	78,04	84,71	91,39	98,06
Lim máx	78,03	84,70	91,38	98,05	-
ICenv					58,34
Classificação					A
EqNumEnv					5

Fonte: Autora.

Nota-se que nesta avaliação, os parâmetros como a orientação solar das aberturas, o FF, PAF e os ângulos de sombreamento são ponderados para a edificação como um todo, podendo reduzir a representatividade do modelo analisado. Lembrando ainda que adota-se um indicador de consumo, não representando uma estimativa de consumo prevista para a edificação.

5.1.2. Sistema de Condicionamento de Ar

Para a avaliação do sistema de condicionamento de ar do Edifício CAD 1 foi utilizado o projeto de ar-condicionado e foi realizada uma visita ao local para identificação dos equipamentos utilizados.

Os equipamentos do tipo Split são classificados pelo Inmetro e suas classificações constam em tabela disponibilizada *online*, assim, foi adotada a classificação indicada. Já para os equipamentos Multi Split foi necessária a identificação do COP através de catálogos dos fabricantes. Vale ressaltar que o acesso à informação técnica nem sempre está facilmente disponibilizado pelo fabricante.

A partir do COP dos equipamentos Multi Split e dos limites definido pelo RTQ-C para tal equipamento foi possível definir a classificação dos aparelhos. Como todos atenderam aos pré-requisitos, a classificação se manteve e o equivalente numérico foi definido para cada sistema. A ponderação do equivalente numérico pela potência total de cada sistema foi realizada e seu somatório dividido pela potência total de todos os sistemas utilizados na edificação. O valor encontrado (pontuação total do

sistema avaliado) foi relacionado com a Tabela 02 para indicação da classificação final do sistema, que por sua vez, levou ao equivalente numérico (Tabela 01) do sistema de condicionamento de ar. Os valores são apresentados nas Tabela 22 e 23 a seguir:

Tabela 22 - Resultados avaliação do Sistema de Condicionamento de Ar - RTQ-C (Parte I)

DADOS DOS AMBIENTES		SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR								
		DADOS EQUIPAMENTOS								
Ambiente	Pavto	Fornec.	Referência Evaporadora	Referência Condens.	Tipo de Equip.	Capacid. (KW)	Quant.	KW Total	COP	Condens. Ar ou água
Sala de aula 101	1º	Springer Carrier	42XQA048	38CCD04853 5MC	Split	4,385	2	8,77	3,21	Ar
Sala de aula 102	1º	Springer Carrier	42XQA048	38CCD04853 5MC	Split	4,385	2	8,77	3,21	Ar
Admi.	2º	Springer Carrier	42LSE36226	38CCD03651 5C	Split	3,720	1	3,72	2,84	Ar
Sala de aula 301	3º	Springer Carrier	42XQA048	38CCD04853 5MC	Split	4,385	2	8,77	3,21	Ar
Sala de aula 302	3º	Springer Carrier	42XQA048	38CCD04853 5MC	Split	4,385	2	8,77	3,21	Ar
Auditório 1	2º	Springer Carrier	40MZ300VH	38AB300	Multi Split VRF	31,900	1	31,90	2,67	Ar
Auditório 2	4º	Springer Carrier	40MZB390VH	38AB390	Multi Split VRF	39,900	1	39,90	2,69	Ar
Auditório 3	2º	Springer Carrier	40MZB390VH	38AB390	Multi Split VRF	39,900	2	79,80	2,69	Ar
								190,40		

Fonte: Autora.

Tabela 23 - Resultados avaliação do Sistema de Condicionamento de Ar - RTQ-C (Parte II)

DADOS DE REFERÊNCIA					PRÉ-REQUISITOS ESPECÍFICOS	CLASSIFICAÇÃO FINAL		
COP LIMITE A	COP LIMITE B	COP LIMITE C	COP LIMITE D	Classif. Parcial	Isolamento térmico para dutos de ar	Classif. Final	Eq. Numérico	Ponderação
3,23	3,02	2,81	2,60	B	Sim	B	4	35,08
3,23	3,02	2,81	3,23	B	Sim	B	4	35,08
3,23	3,02	2,81	2,60	C	Sim	C	3	11,16
3,23	3,02	2,81	2,60	B	Sim	B	4	35,08
3,23	3,02	2,81	2,60	B	Sim	B	4	35,08
3,81				B	Sim	B	4	127,6
3,81				B	Sim	B	4	159,6
3,81				B	Sim	B	4	319,2
								757,88
								757,88 / 190,40 =
								3,98
Classificação								B
EqNumEnv								4

Fonte: Autora.

5.1.3. Sistema de Iluminação

Para a avaliação do sistema de iluminação foi utilizado o projeto de elétrica / luminotécnica e adotou-se o método das atividades do edifício conforme apresentado anteriormente. Após leitura e compreensão de todo o projeto, levantaram-se os dados para preenchimento das Tabelas 11, 12 e 13. Todos os ambientes foram listados com suas respectivas áreas, quantidade de luminárias, lâmpadas e suas potências. Para todos os equipamentos foi considerada uma dissipação do reator de 10%. A DPI encontrada para cada ambiente foi comparada com o valor de referência e obteve-se uma classificação parcial. Com a análise dos pré-requisitos, foi obtida a classificação final e o equivalente numérico que, a partir da potência instalada de cada ambiente, levou a um valor de ponderação. A soma de todas as ponderações foi dividida pelo somatório da área de todos os ambientes. O valor encontrado (pontuação total do sistema avaliado) foi relacionado com a Tabela 02 para indicação da classificação final do sistema, que por sua vez, levou

ao equivalente numérico (Tabela 01) do sistema de iluminação. Esses valores são apresentados na Tabela 24 a seguir:

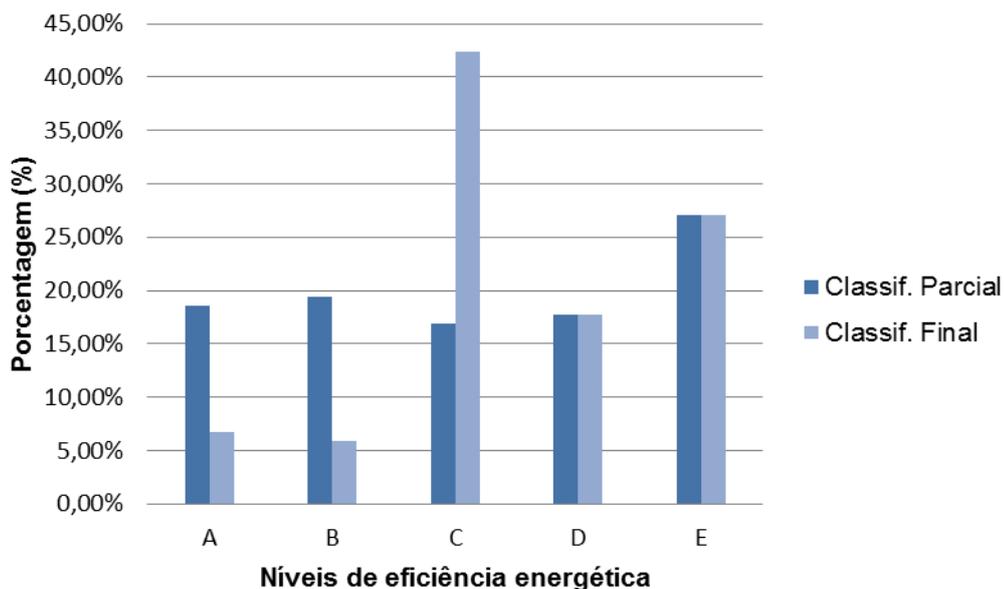
Tabela 24 - Resultados avaliação do Sistema de Iluminação – RTQ-C

DADOS DOS AMBIENTES	SISTEMA DE ILUMINAÇÃO		DADOS REFERÊNCIA RTQ-C				CLASSIFICAÇÃO FINAL
GEOMETRIA DO AMBIENTE	CONSUMO		POTÊNCIA LIMITE				
Área (m ²)	Potência total instalada (W)	DPI (W/m ²)	P _L NÍVEL A	P _L NÍVEL B	P _L NÍVEL C	P _L NÍVEL D	Ponderação
8.321,12	95.649,4	Var.	69.353,90	83.224,68	97.095,47	110.966,25	185.451,2
185.451,2 / 95.649,4							1,94
Classificação							D
EqNumDPI							2

Fonte: Autora.

A análise das classificações parciais, ou seja, que não consideram o atendimento ou não aos pré-requisitos, apresentada no Gráfico 01, aponta que 27,12% dos ambientes avaliados obtiveram classificação parcial E. Com isso, entende-se que os equipamentos utilizados poderiam ser mais eficientes, garantido uma DPI menor. Já com classificação parcial A e B tem-se, respectivamente, 18,64% e 19,49% dos ambientes, porém a maioria desses, 71%, não atende a todos os pré-requisitos para os níveis A e B. Pôde-se notar que a contribuição de luz natural (pré-requisito para os níveis A e B) e o desligamento automático do sistema de iluminação (pré-requisito para o nível A) não são atendidos em muitos ambientes.

Gráfico 01 – Classificação, parcial e final, do Sistema de Iluminação por ambientes



Fonte: Autora.

Para melhor classificação do sistema de iluminação, as luminárias próximas às janelas deveriam ter circuitos de acionamento independente das demais para que seja possível a contribuição da luz natural. Outra medida seria a especificação de luminárias de acordo com a atividade exercida no ambiente, já que a mesma peça é utilizada, por exemplo, nas salas de aulas e nas instalações sanitárias, ambientes que requerem níveis de iluminação diferentes e sendo o uso distinto, cada ambiente deveria ter luminária com características ópticas adequadas para favorecimento de tais usos. Sendo que a DPI_L para sala de aula apresenta valores maiores que a DPI_L para instalação sanitária. Com isso, na edificação analisada, nota-se que as instalações sanitárias possuem DPI que extrapolam os valores de referência.

5.1.4. Classificação de Eficiência Energética Geral: RTQ-C

Para a determinação da classe de eficiência energética geral do Edifício CAD 1 foi utilizada a Equação 8 apresentada anteriormente. Além dos equivalentes numéricos calculados e apresentados nos itens acima, a equação da pontuação final engloba o equivalente numérico de ambientes não condicionados e/ou ventilados naturalmente

(EqNumV) que é obtido a partir da comprovação de percentual de horas ocupadas de conforto por ventilação natural (POC) através de simulação computacional. No presente estudo, optou-se por não realizar a simulação computacional nesta etapa e assim o EqNumV=1. Foi calculado ainda, para ambientes não condicionados, a área útil dos ambientes de permanência transitória e a área útil dos ambientes condicionados. O Edifício CAD 1 não apresentou iniciativas que aumentassem o nível de eficiência energética da edificação, assim não obteve pontos em bonificação. Com todas as variáveis presentes na Equação calculadas foi possível definir a pontuação final do Edifício CAD 1 e sua classificação conforme apresentado na Tabela 25 a seguir:

Tabela 25 - Variáveis da equação para cálculo da pontuação total – RTQ-C

EqNumEnv	5	APT	4.255,19
EqNumDPI	2	ANC	1.895,35
EqNumCA	4	AC	2.170,65
EqNumV	1	AU	8.321,19
b	0	AC/AU	0,260858
		APT/AU	0,511368
		ANC/AU	0,22777
Pontuação Total			3,36
Classificação Final			C

Fonte: Autora.

A aplicação do método prescritivo presente no RTQ-C englobou os sistemas de envoltória, condicionamento de ar e iluminação que possuem, respectivamente, os pesos de 30%, 40% e 30% da equação final para classificação da edificação. Para melhores resultados, o sistema de iluminação deveria ser alterado, já que foi o sistema com nível de eficiência mais baixo havendo alternativas menos onerosas para melhoria do sistema se comparado à alteração do sistema de condicionamento de ar, sistema que apresentou nível de eficiência B. Medidas que contribuam para a obtenção de pontos em bonificação são também alternativas compatíveis com a edificação e seu uso, como o uso racional de água e de sistemas renováveis de energia.

Em relação à aplicação do RTQ-C, o sistema de envoltória demandou maior tempo e requereu mais cálculos que os demais sistemas. A classificação final se deu através de equação cujas variáveis já foram levantadas nas avaliações individuais dos sistemas.

5.2. Resultados da aplicação do método presente no INI-C

5.2.1. Sistema de Envoltória

Para a utilização do método simplificado do INI-C no sistema de envoltória foi necessário realizar a verificação da viabilidade de sua aplicação. Conforme apresentado na Tabela 26, os parâmetros construtivos do Edifício CAD 1 atenderam aos limites estabelecidos.

Tabela 26 - Declaração do atendimento dos limites de aplicação do método simplificado do INI-C

Parâmetros	Limites de Aplicação do Método		Edificação	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
α COB – Absortância da cobertura	0,20	0,80	0,34	
α PAR – Absortância da parede externa	0,20	0,80	0,372	0,669
AOV – Ângulo de obstrução por vizinhança [°]	0,00	80,00	0,00	
AHS – Ângulo horizontal de sombreamento [°]	0,00	80,00	0,00	19,50
AVS – Ângulo vertical de sombreamento [°]	0,00	90,00	0,00	53,33
CTcob – Capacidade térmica da cobertura [kJ/(m ² .K)]	0,22	450,00	230,00	
CTpar – Capacidade térmica da parede externa [kJ/(m ² .K)]	0,22	450,00	161,00	
Contato com o solo	Sem	Com	COM	
DPE – Densidade de potência de equipamentos [W/m ²]	4,00	40,00	9,70	
DPI – Densidade de potência de iluminação [W/m ²]	4,00	40,00	12,00	20,05
FS – Fator solar do vidro	0,21	0,87	0,58	
PAZ – Percentual de abertura zenital [%]	0,00	3,00	0,00	0,97
PD – Pé-direito [m]	2,60	6,60	2,70	5,58
PAF – Percentual de abertura na fachada [%]	0,00	80,00	0,00	55,16
Piso com isolamento	Não, se isolamento < 5 mm	Sim, se isolamento > 5 mm	NÃO	
Ucob – Transmitância térmica da cobertura [W/(m ² .K)]	0,51	5,07	0,55	
Upar – Transmitância térmica da parede externa [W/(m ² .K)]	0,50	4,40	1,85	
Uvid – Transmitância térmica do vidro [W/(m ² .K)]	1,90	5,70	5,60	5,67

Fonte: Autora.

O Edifício CAD 1 apresenta, além de ambientes condicionados artificialmente, ambientes condicionados naturalmente, sendo sua avaliação pelo método simplificado uma das mudanças da INI-C, já que na metodologia presente no RTQ-C esse tipo de edificação deve ser avaliada através de simulação. Caso a ventilação natural proporcione conforto em 90% ou mais das horas ocupadas ($PHOC_T \geq 90$), não há contribuição no consumo total de energia do edifício. No contrário ($PHOC_T < 90$), a carga térmica total anual do edifício (CgT_T) é contabilizada no consumo total final a partir do sistema de ar-condicionado.

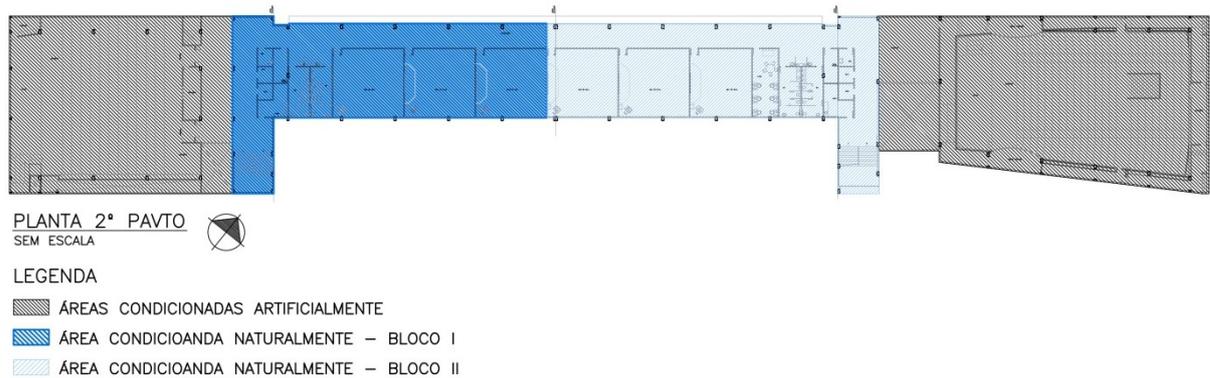
5.2.1.1. Cálculo do Percentual de Horas de Conforto Térmico (PHOC_T)

O processo de levantamento de dados para cálculo do PHOC_T é simplificado e não requer informações muito detalhadas da edificação. O programa *Natural Comfort* foi desenvolvido no Python 2.7 que lê dados de um arquivo CSV de entrada e gera saída também em um arquivo CSV. A principal dificuldade encontrada neste processo foi em relação aprendizado do uso do software Python 2.7 para leitura do metamodelo. Ao inserir algum dado incorretamente ou fora do limite determinado para o metamodelo, este não informa o ocorrido, apenas não gera resultados. Para saber onde está o problema é necessário abrir o *prompt* de comando e a partir dos códigos buscar interpretar o ocorrido, o que dificulta o processo.

Inicialmente, ao inserir os 38 parâmetros no metamodelo de Rackes *et al.* (2016) o programa não retornou dados de saída. Isso ocorreu porque o metamodelo limita-se a edificações que apresentem o comprimento até quatro vezes a dimensão da largura. No artigo *Naturally comfortable and sustainable: informed design guidance and performance labeling for passive commercial buildings in hot climates (Rackes et al., 2016)* que descreve o metamodelo, os autores relatam que nos modelos de edifícios trabalhados, o comprimento máximo correspondeu a quatro vezes a largura. Porém, essa informação não está presente nos limites definidos para o metamodelo.

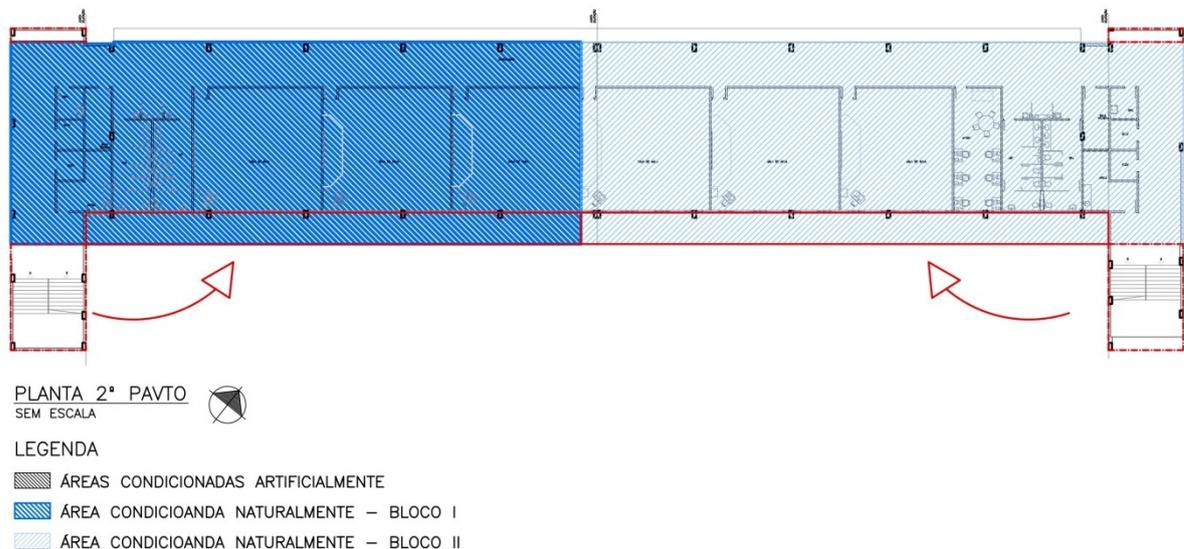
Com isso, o Edifício CAD 1 foi segmentado em dois blocos com áreas iguais e os auditórios presentes nas extremidades foram desconsiderados (Figura 20), uma vez que estes apresentam condicionamento de ar artificial. Os valores dos dados de entrada no metamodelo foram considerados os mesmo para os dois blocos, uma vez que estes apresentam as mesmas características. Ressalta-se que não há a possibilidade de definição de paredes adiabáticas nos modelos e tal resulta em um erro de avaliação quando é necessário fazer-se a divisão em blocos.

Figura 20 - Divisão do Edifício CAD 1 para cálculo do PHOC_T



Fonte: Autora.

Figura 21 - Adaptação da geometria do Edifício CAD 1 para cálculo do PHOC_T



Fonte: Autora.

Outras adaptações também foram necessárias para uso do programa. A edificação deve ser retangular e não apresentar reentrâncias ou saliências, para isso os blocos analisados foram configurados em formato retangular mantendo a mesma área, mas com largura e comprimento adaptados (Figura 21). O Edifício CAD 1 apresenta diferentes alturas de pé-direito, assim foi definido um valor médio. Para a determinação da transmitância e absortância das paredes, fez-se uma ponderação dos valores das fachadas NO e SE. Todos os valores utilizados são apresentados na Tabela 27. Para os valores da média de densidade de potência de iluminação e

equipamentos para áreas de permanência prolongada e transitória utilizaram-se os determinados na INI-C para tipologia educacional apresentados na Tabela 15.

Tabela 27 - Dados de entrada do metamodelo de Rackes *et al.* (2016)

Parâmetro	Dados de entrada no metamodelo	Valores utilizados
1-9	Dados climáticos INMET	-
10	Comprimento total	48,36m
11	Profundidade total	15,71m
12	Altura entre pavimentos	3,0m
13	Número de pavimentos	3
14	Área média dos ambientes	92,8m ²
15	Relação área de escada / área do edifício	0,042
16	Fração de abertura fachada	0,26
17	Ângulo médio de sombreamento medido a partir da parede vertical	45°
18	Absortância solar média das paredes externas	0,46
19	Transmitância térmica média das paredes externas	1,85 W/m ² .K
20	Capacidade térmica média das paredes externas	161 KJ/m ² .K
21	Absortância solar média da cobertura	0,34
22	Transmitância térmica média da cobertura	0,55 W/m ² .K
23	Capacidade térmica média da cobertura	230 KJ/m ² .K
24	Coeficiente de ganho solar do vidro	0,58
25	Transmitância térmica do vidro	5,6 W/m ² .K
26	Densidade de potência iluminação e equipamentos	23,8 W/m ²
27	Densidade de potência iluminação e equipamentos para áreas de circulação	8,42 W/m ²
28	Número de ocupantes por m ²	0,32 ocup/m ²
29	Hora de abertura do prédio	8 h
30	Hora de fechamento do prédio	22 h
31	Fator de correção da velocidade do ar externo	0,22
32	Obstáculo do entorno	0,9
33	Média da fração máxima de abertura de todas as janelas	0,4
34	Fração de abertura da fachada das janelas destinadas à ventilação noturna (abertas 24h)	0,019
35	Relação entre a largura e a altura das janelas primárias	3,67
36	Coeficiente de descarga das janelas primárias	0,4
37	Área efetiva de vazão entre os espaços ocupados e as áreas de permanência compartilhada, por comprimento de parede compartilhada	0,014
38	Incremento da velocidade do ar a partir de ventiladores de teto	0,35 m/s

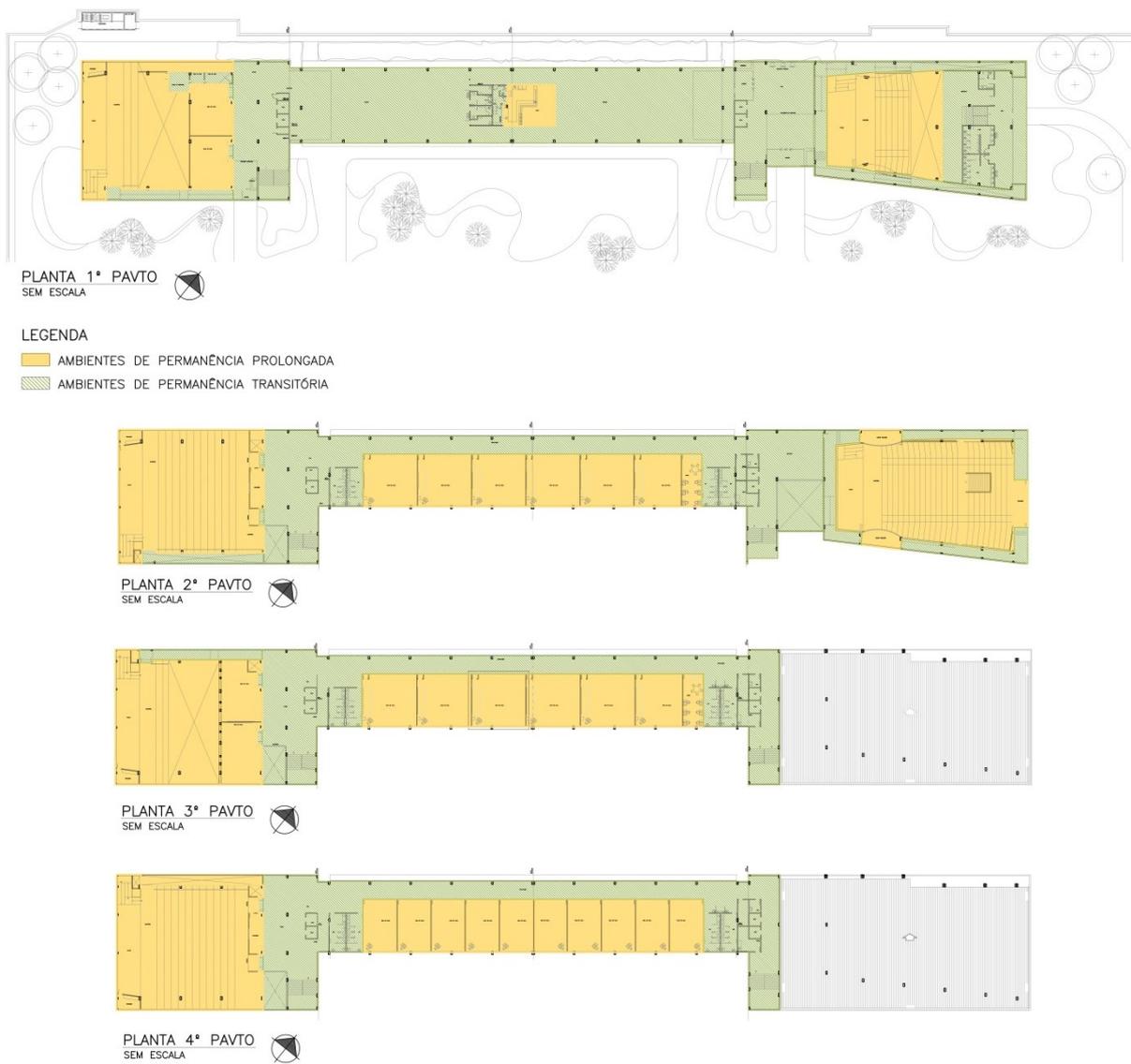
Fonte: Autora.

A partir do metamodelo tem-se o percentual de 14% horas ocupadas em desconforto térmico, ou seja, 86% das horas ocupadas estão em conforto térmico. Sendo este valor menor que 90% ($PHOC_T < 90\%$), foi necessário realizar o cálculo da carga térmica de refrigeração ($C_{g_{TREFRIG}}$), assim como para os ambientes com condicionamento de ar artificial.

5.2.1.2. Zonas térmicas

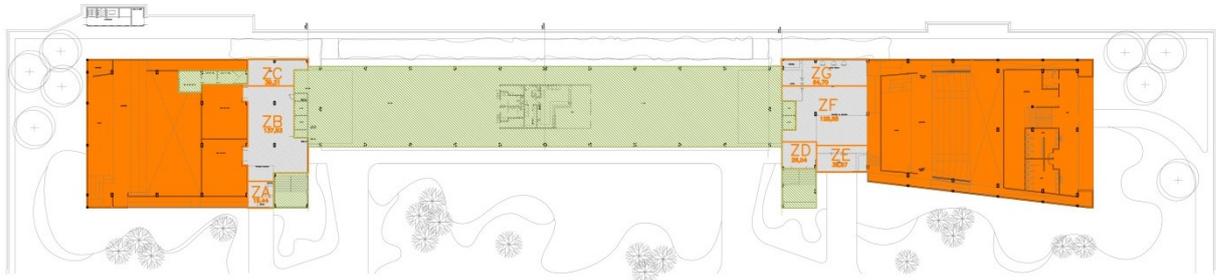
Inicialmente foi definido o uso da tipologia em edificação educacional. Em seguida, foi feita a setorização das áreas de permanência prolongada e de permanência transitória, resultando na Figura 22 a seguir. Essa setorização facilitou a divisão do Edifício CAD 1 em zonas térmicas, já que essas não consideram áreas de permanência transitória. A partir das áreas de permanência prolongada houve a divisão das zonas térmicas, resultando em 37 zonas conforme Figura 23 e 24. Foram considerados os ambientes com condicionamento natural, já que estes não atingiram o percentual de horas ocupadas em conforto térmico para dispensar o cálculo de carga térmica. Mesmo com as premissas para divisão das zonas térmicas presentes na INI-C foi necessário tomar decisões sobre como interpretar o método em algumas áreas como nos auditórios, em que se consideraram as Salas de Tradução com as mesmas características do restante do ambiente.

Figura 22 - Áreas de permanência prolongada e áreas de permanência transitória do Edifício CAD 1



Fonte: Autora.

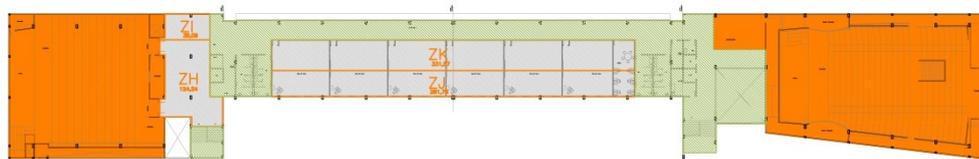
Figura 23 - Divisão do Edifício CAD 1 em zonas térmicas: condicionamento natural



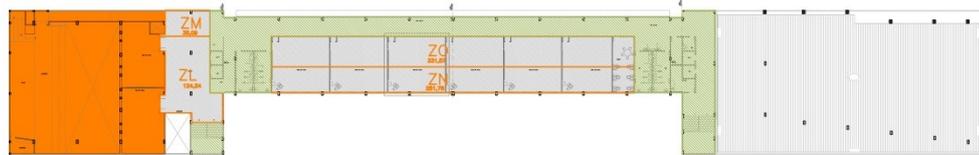
PLANTA 1º PAVTO
SEM ESCALA

LEGENDA

-  AMBIENTES DE PERMANÊNCIA TRANSITÓRIA (CONDICIONAMENTO DE AR NATURAL)
-  ZONAS TÉRMICAS (PHOCT < 90%)
-  AMBIENTES COM CONDICIONAMENTO DE AR ARTIFICIAL



PLANTA 2º PAVTO
SEM ESCALA



PLANTA 3º PAVTO
SEM ESCALA



PLANTA 4º PAVTO
SEM ESCALA

Fonte: Autora.

Figura 24 - Divisão do Edifício CAD 1 em zonas térmicas: condicionamento artificial



Fonte: Autora.

Para cada zona térmica foram definidos parâmetros de entrada a serem usados na interface disponibilizada para cálculo da carga térmica de refrigeração. As Tabelas 28, 29, 30, 31 e 32 apresenta os dados de entrada de todas as 37 zonas térmicas do Edifício CAD 1. Utilizou-se nomenclatura diferenciada para as zonas térmicas de áreas condicionadas naturalmente (letras) e para zonas térmicas de áreas condicionadas artificialmente (números) conforme Figuras 23 e 24, já que as primeiras correspondem a áreas que foram avaliadas através do PHOC_T e não obtiveram 90% das horas de ocupação em conforto. As geometrias das zonas

térmicas são variadas e apresentam reentrâncias devido à exclusão de áreas de permanência transitória e também devido às premissas da separação de zonas.

Tabela 28 - Dados de entrada das zonas térmicas do Edifício CAD 1 – 1º pavimento

Parâmetros	1º PAVIMENTO (TÉRREO)								
	Zona 1	Zona 2	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E	Zona F	Zona G
Área (m ²)	122,09	20,25	19,44	137,93	39,31	26,04	38,67	128,85	64,70
Contato com o solo?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Zona sobre pilotis?	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Cobertura exposta?	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Isolamento térmico no piso	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Tipo de zona?	Interna	Interna	Perimetral	Interna	Perimetral	Interna	Perimetral	Interna	Perimetral
Orientação solar			SE		NO		SE		NO
DPE	9,70	9,70	9,70	9,70	9,70	9,70	9,70	9,70	9,70
DPI	12,70	12,70	18,60	18,60	18,60	16,07	16,07	16,07	16,07
FS			0,58		0,58		0,58		0,58
Uvid			5,67		5,67		5,67		5,67
Absortância cob									
Absortância parede			0,41		0,372		0,669		0,372
Pé-direito (m)	3,20	3,20	2,70	2,70	2,70	2,94	2,94	2,94	2,94
PAF			100,00		41,57		70,93		14,48
AHS			0		0		25,50		0
AVS			0		0		0		0
AOV			0		0		0		0
Horas de ocupação	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Ucob									
Upar			1,85		1,85		1,85		1,85
CTcob									
CTpar			161		161		161		161

Fonte: Autora.

Tabela 29 - Dados de entrada das zonas térmicas do Edifício CAD 1 – 2º pavimento

Parâmetros	2º PAVIMENTO						
	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7	Zona 8	Zona 9
Área (m ²)	110,97	92,25	353,55	110,95	56,05	159,46	449,97
Contato com o solo?	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Zona sobre pilotis?	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Cobertura exposta?	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim
Isolamento térmico no piso	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Tipo de zona?	Perimetral	Perimetral	Interna	Perimetral	Perimetral	Perimetral	Interna
Orientação solar	NO	SO		SE	NO	NO	
DPE	9,70	9,70	9,70	9,70	9,70	9,70	9,70
DPI	14,47	14,47	14,47	14,47	16,33	19,17	19,17
FS	0	0		0,58	0,58	0	
Uvid	0	0		5,67	5,67	0	
Absortância cob					0,34	0,34	0,34
Absortância parede	0,372	0,372		0,372	0,372	0,372	
Pé-direito (m)	4,16	3,41	4,16	4,16	3,00	5,58	5,58
PAF	0	0		55,86	23,83	0	
AHS	0	0		0	0	0	
AVS	0	0		0	0	0	
AOV	0	0		0	0	0	
Horas de ocupação	14	14	14	14	14	14	14
Ucob					0,55	0,55	0,55
Upar	1,85	1,85			1,85	1,85	
CTcob					230	230	230
CTpar	161	161		161	161	161	

Fonte: Autora.

Tabela 30 - Dados de entrada das zonas térmicas do Edifício CAD 1 – 2º pavimento (continuação)

Parâmetros	2º PAVIMENTO (CONTINUAÇÃO)					
	Zona 10	Zona 11	Zona H	Zona I	Zona J	Zona K
Área (m ²)	91,21	161,51	124,24	35,09	281,78	331,57
Contato com o solo?	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Zona sobre pilotis?	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim
Cobertura exposta?	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não
Isolamento térmico no piso	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Tipo de zona?	Perimetral	Perimetral	Interna	Perimetral	Perimetral	Interna
Orientação solar	NE	SE		NO	SE	
DPE	9,70	9,70	9,70	9,70	9,70	9,70
DPI	19,17	19,17	20,05	20,05	12,00	12,00
FS	0	0		0,58	0,58	
Uvid	0	0		5,67	5,60	
Absortância cob	0,34	0,34				
Absortância parede	0,372	0,372		0,372	0,547	
Pé-direito (m)	2,60	5,58	2,70	2,70	3,00	3,00
PAF	0	0		55,16	52,47	
AHS	0	0		0	19,5	
AVS	0	0		0	53,33	
AOV	0	0		0	0	
Horas de ocupação	14	14	14	14	14	14
Ucob	0,55	0,55				
Upar	1,85	1,85		1,85	1,85	
CTcob	230	230				
CTpar	161	161		161	161	

Fonte: Autora.

Tabela 31 - Dados de entrada das zonas térmicas do Edifício CAD 1 – 3º pavimento

Parâmetros	3º PAVIMENTO						
	Zona 12	Zona 13	Zona 14	Zona L	Zona M	Zona N	Zona O
Área (m²)	27,44	106,7	35,12	124,24	35,09	281,78	331,57
Contato com o solo?	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Zona sobre pilotis?	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Cobertura exposta?	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Isolamento térmico no piso	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Tipo de zona?	Interna	Interna	Perimetral	Interna	Perimetral	Perimetral	Interna
Orientação solar			SE		NO	SE	
DPE	9,70	9,70	9,70	9,70	9,70	9,70	9,70
DPI	13,13	13,13	13,13	20,05	20,05	12,00	12,00
FS			0		0,58	0,58	
Uvid			0,00		5,67	5,60	
Absortância cob							
Absortância parede			0,372		0,372	0,547	
Pé-direito (m)	3,20	3,20	3,20	2,70	2,70	3,00	3,00
PAF			0		55,16	52,47	
AHS			0		0	19,5	
AVS			0		0	53,33	
AOV			0		0	0	
Horas de ocupação	14	14	14	14	14	14	14
Ucob							
Upar			1,85		1,85	1,85	
CTcob							
CTpar			161		161	161	

Fonte: Autora.

Tabela 32 - Dados de entrada das zonas térmicas do Edifício CAD 1 – 4º pavimento

Parâmetros	4º PAVIMENTO							
	Zona 15	Zona 16	Zona 17	Zona 18	Zona P	Zona Q	Zona R	Zona S
Área (m ²)	110,68	92,25	353,55	110,97	124,24	35,09	281,78	331,57
Contato com o solo?	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Zona sobre pilotis?	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Cobertura exposta?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Isolamento térmico no piso	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Tipo de zona?	Perimetral	Perimetral	Interna	Perimetral	Interna	Perimetral	Perimetral	Interna
Orientação solar	NO	SO		SE		NO	SE	
DPE	9,70	9,70	9,70	9,70	9,70	9,70	9,70	9,70
DPI	14,35	14,35	14,35	14,35	20,05	20,05	12,00	12,00
FS	0,58	0		0		0,58	0,58	
Uvid	5,67	0		0		5,67	5,60	
Absortância cob	0,34	0,34		0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
Absortância parede	0,372	0,372		0,372		0,372	0,547	
Pé-direito (m)	3,86	3,41	3,86	3,86	2,70	2,70	3,00	3,00
PAF	55,82	0		0		55,16	52,47	
AHS	0	0		0		0	19,5	
AVS	0	0		0		0	53,33	
AOV	0	0		0		0	0	
Horas de ocupação	14	14	14	14	14	14	14	14
Ucob	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
Upar	1,85	1,85		1,85		1,85	1,85	
CTcob	230	230	230	230	230	230	230	230
CTpar	161	161		161		161	161	

Fonte: Autora.

Para a condição de referência, utilizaram-se como parâmetros das zonas térmicas os dados estabelecidos na Tabela 15.

Diferentemente do método de avaliação anterior, nesta avaliação, os parâmetros de entrada para avaliação foram considerados de acordo com orientação solar devido à divisão da edificação em zonas térmicas. Esta divisão permitiu ainda que houvesse distinção de densidades de potência instalada de iluminação e de equipamentos entre os ambientes. Com isso, as características termofísicas da edificação foram consideradas individualmente, não havendo ponderação de valores para a edificação como um todo, o que permitiu representar de forma mais adequada as características reais da edificação.

5.2.1.3. Carga térmica total de refrigeração

Como dado de saída do metamodelo obteve-se a carga térmica total de refrigeração (CgT_{REFRIG}). Para a área com condicionamento natural, o valor da carga térmica de refrigeração foi multiplicado pela fração de horas de desconforto por calor (FH_{desc}) obtida através do cálculo do $PHOC_T$, resultando na carga térmica total (CgT_T) como mostra a Tabela 33 a seguir.

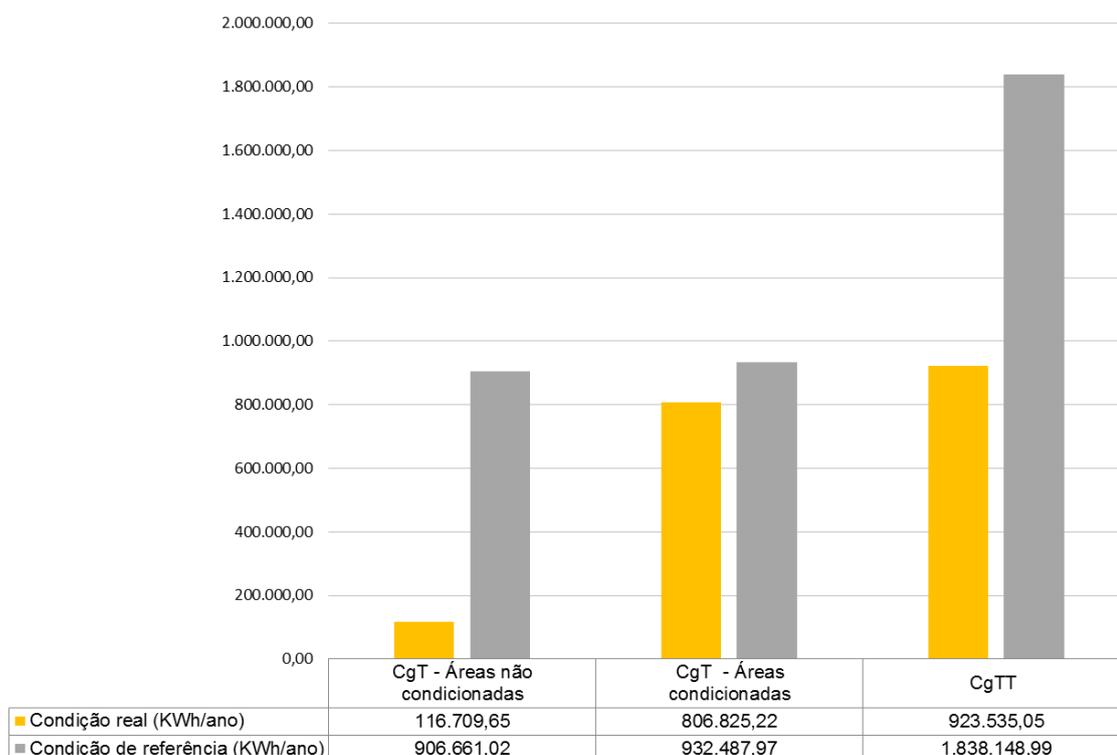
Tabela 33 - Dados de saída da avaliação do Sistema de Envoltória para áreas condicionadas naturalmente

$PHOC_T$ (%)	FH_{desc}	CgT_{REFRIG} (KWh/ano)	CgT_T (KWh/ano)
86	0,14	833.641,65	116.709,65

Fonte: Autora.

O valor de carga térmica anual das áreas condicionadas foi somado ao valor da carga térmica das áreas não condicionadas, resultando na carga térmica total do Edifício CAD 1, apresentada no Gráfico 02.

Gráfico 02 - Dados de saída da avaliação do Sistema de Envoltória – INI-C



Fonte: Autora.

Depois de calculada a carga térmica total anual da envoltória nas condições real e de referência, obteve-se o coeficiente de redução de carga térmica total anual da classe D para a classe A ($CRCgT_{D-A}$) a partir do fator de forma (FF) da edificação e o grupo climático (GCL) no qual o Edifício CAD 1 se insere. Este coeficiente de redução difere para cada tipologia, e foi obtido através de tabela presente na INI-C e são apresentados na Tabela 34. Com isso, pôde-se definir o intervalo de classe da escala de eficiência e classificar o Sistema de Envoltória do Edifício CAD 1, que recebeu nível A de eficiência energética, como mostrado na Tabela 35.

Tabela 34 - Variáveis para determinação da escala de eficiência energética do Sistema de Envoltória do Edifício CAD 1 – INI-C

PRCEP_{REAL-D}	FF	CRCgT_{D-A}	$i = (CgT_{TREF} * CRCgT_{D-A}) / 3$
49,78	0,196	0,23	141001,42

Fonte: Autora.

Tabela 35 - Limites dos intervalos dos níveis de eficiência do Sistema de Envoltória – INI-C

A	B	C	D	E
	> 1.4161.44,72	> 1.557.146,14	> 1.698.147,57	> 1.839.148,99
< 1.416.144,72	≤ 1.557.146,14	≤ 1.698.147,57	≤ 1.839.148,99	
Classificação				A
Economia em relação ao nível D				49,7%

Fonte: Autora.

O nível de eficiência energética do sistema de envoltória obtido manteve-se o mesmo da avaliação pela metodologia no RTC-C.

5.2.2. Sistema de Condicionamento de Ar

Para a avaliação do sistema de condicionamento de ar do Edifício CAD 1 foi utilizado o projeto de ar-condicionado e foi realizada uma visita ao local para identificação de alguns dos equipamentos utilizados.

Para os equipamentos de ar etiquetados pelo Inmetro (Sistema 1), a classe foi determinada a partir da média ponderada entre os diferentes coeficientes de eficiência energética da máquina de acordo com o número de máquinas. Para os equipamentos não etiquetados pelo INMETRO (Sistema 2), a eficiência do sistema deve ser multiplicada pelo fator de ponderação (Fator K), que varia de acordo com o grupo climático e é definido na INI-C. A classificação obtida é apresentada na Tabela 36 a seguir.

Tabela 36 - Resultados da classificação do Sistema de Condicionamento de Ar – INI-C

	COP médio	Fator K	Classificação
Etiquetado Inmetro	3,14	-	B
Não etiquetado pelo Inmetro	2,69	0,81	D

Fonte: Autora.

O consumo do sistema foi determinado pela divisão entre a carga térmica total anual do Edifício CAD 1 proveniente da avaliação do sistema de envoltória (CgT_T) e a eficiência energética do sistema condicionamento de ar para a condição real e de referência conforme Tabela 37.

Tabela 37 - Consumo previsto do Sistema de Condicionamento de Ar (CCA_E)

	Carga Térmica	COP médio	Consumo KWh/ano
CgT_{TREAL} (Sistema 1)	188.199,4	3,14	59.936,10
CgT_{TREAL} (Sistema 2)	735.335,7	2,69	328.274,86
CgT_{TREAL}		S1 + S2	388.210,96
CgT_{TREF}	1.839.149	2,60	707.365,00

Fonte: Autora.

O texto disponibilizado para Consulta Pública do Sistema de Condicionamento de Ar apresenta algumas inconsistências, como referências a tabelas não disponibilizadas, com isso, a avaliação ficou limitada, principalmente para os equipamentos não etiquetados pelo Inmetro. Não foi elucidado como proceder com a classificação quando há tanto equipamentos etiquetados pelo Inmetro e equipamentos não etiquetados, já que uma ponderação dos resultados se faz necessária. A partir disso, a avaliação individual do sistema ficou indefinida, mas o consumo em KWh/ano foi

calculado de acordo com o texto disponibilizado para determinação do nível de eficiência energética geral do Edifício CAD 1.

5.2.3. Sistema de Iluminação

Para a avaliação do sistema de iluminação foi utilizado o projeto de elétrica / luminotécnica e adotou-se o método das atividades do edifício conforme apresentado anteriormente. Após leitura e compreensão de todo o projeto, levantou-se os dados para preenchimento da Tabela 38. Os resultados encontrados para a edificação real e de referência são apresentados na Tabela 39. Com o preenchimento da Tabela 40 encontrou-se o nível de eficiência C para o sistema de iluminação.

Tabela 38 - Resultados da Potência Total Instalada de Iluminação – INI-C

DADOS DOS AMBIENTES			SISTEMA DE ILUMINAÇÃO		
INFORMAÇÕES BÁSICAS		GEOMETRIA DO AMBIENTE	CONSUMO		
Atividade	Pavto	Área (m ²)	Potência total instalada (W)	Pl Nível A (W)	Pl Nível D (W)
		8.321,12	95.649,40	76.858,06	112.314,48

Fonte: Autora.

Tabela 39 – Cálculo do intervalo para os níveis de eficiência – INI-C

PI_T	95649,40 W
PI_{TREF}	112314,48 W
PI_{TA}	76858,06 W
i = (PI_{TREF} - PI_{TA}) / 3	11818,807

Fonte: Autora.

Tabela 40 - Limites dos intervalos dos níveis de eficiência do Sistema de Iluminação – INI-C

A	B	C	D	E
-	> 76858,06	> 88676,87	> 100495,67	> 112314,48
< 76858,06	≤ 88676,87	≤ 100495,67	≤ 112314,48	-
Classificação				C
Economia em relação ao nível D				14,8%

Fonte: Autora.

A classe C de eficiência energética não apresenta pré-requisitos a serem analisados, o que ocorre apenas para a classe A. Com isso, pode-se observar em relação ao método presente do RTQ-C, que os pré-requisitos possuem participação para mudança na classificação obtida, uma vez que no INI-C os pré-requisitos são avaliados apenas para o nível A. Soma-se a isso o fato de que houve uma redução nas DPL para cada nível no método do INI-C.

Para a determinação do consumo total do Sistema de Iluminação foi feita a multiplicação da potência instalada pelas horas de ocupação por dia e pelos dias ocupados ao ano, como mostra a Tabela 41.

Tabela 41 - Consumo previsto do Sistema de Iluminação (CIL)

	Condição real	Condição de referência
Potência total instalada (W)	95649,40	112314,48
Horas de uso (h)	14	14
Dias de uso / ano	200	200
Consumo (KWh/ano)	267818,32	314480,54

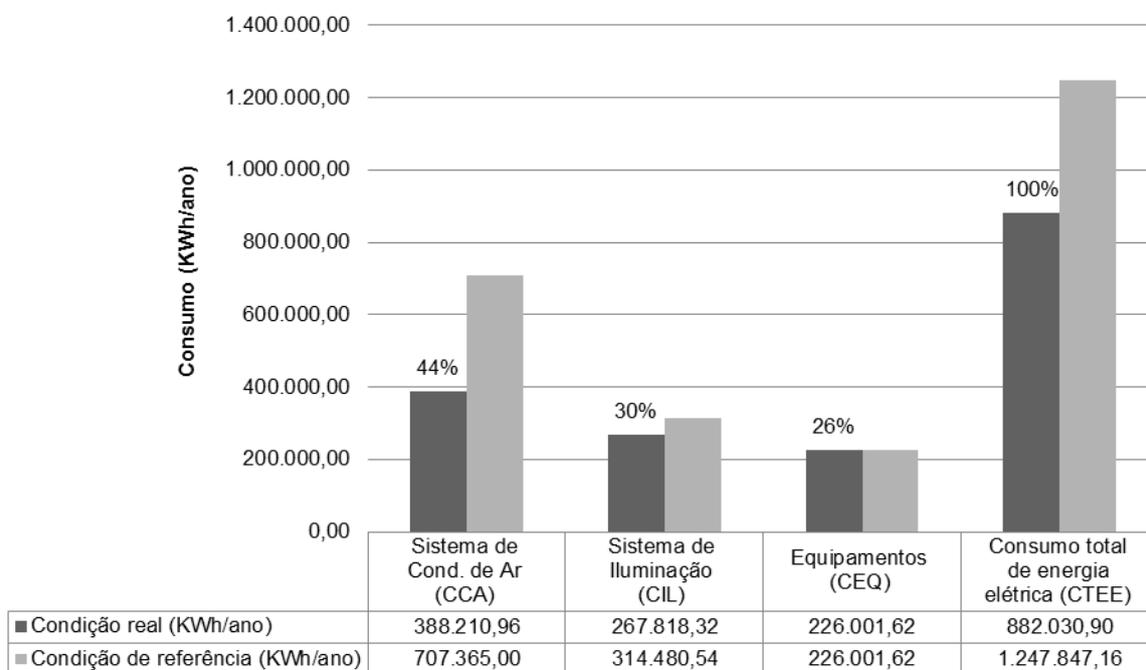
Fonte: Autora.

5.2.4. Determinação da eficiência energética do Edifício CAD 1

Para a determinação da classe de eficiência global do Edifício CAD 1, foi necessário determinar seu consumo em energia primária. Para isso, partiu-se dos consumos finais de cada sistema, condição real e de referência (Gráfico 03). Como a edificação analisada utiliza somente energia elétrica, o consumo foi determinado pela Equação

1 apresentada anteriormente. Para o consumo de Equipamentos foi utilizado o valor definido para a tipologia educacional presente na INI-C.

Gráfico 03 - Consumo total previsto de energia elétrica do Edifício CAD 1



Fonte: Autora.

Nota-se que o sistema de condicionamento de ar apresentou o maior consumo final de energia, 44% da energia prevista para o Edifício CAD 1. Enquanto os sistemas de iluminação e de equipamentos apresentaram, respectivamente, 30% e 26% do consumo previsto.

A partir do consumo total de energia elétrica do Edifício CAD 1, fez-se a conversão em energia primária com o fator de conversão definido pelo regulamento – $fcE = 1,6$ (Tabela 42).

Tabela 42 - Consumo previsto em energia primária do Edifício CAD 1

Consumo em energia primária (KWh/ano)	
CEP = CTE E * fcE	
Condição Real	Condição Referência
1.411.249,44	1.996.555,46

Fonte: Autora.

Com os valores dos consumos em energia primária, foi calculado o percentual de economia da edificação em relação ao nível D ($PRCEP_{REAL-D}$). Calculou-se o FF da

edificação, e encontrou o valor i para a subdivisão da escala de eficiência energética da edificação, da mesma forma que a envoltória, esses valores são apresentados na Tabela 43. Com isso, determinou-se a escala global de eficiência energética da edificação (Tabela 44) e definiu-se o nível de eficiência energética alcançado pelo Edifício CAD 1 pelo método presente no INI-C.

Tabela 43 - Variáveis para determinação da escala de eficiência energética do Edifício CAD 1

$PRCEP_{REAL-D}$	FF	$CRCEP_{D-A}$	$i = (CEP_{REF} * CRCEP_{D-A}) / 3$
29,32	0,196	0,32	212965,92

Fonte: Autora.

Tabela 44 - Escala de eficiência energética do Edifício CAD 1 – INI-C

A	B	C	D	E
	> 1.357.657,71	> 1.570.623,63	> 1.783.589,54	> 1.996.555,46
< 1.357.657,71	≤ 1.570.623,63	≤ 1.783.589,54	≤ 1.996.555,46	
Classificação				B
Economia em relação ao nível D				29,3%

Fonte: Autora.

A classificação final de eficiência energética do Edifício CAD 1 foi diferente da obtida na avaliação pela metodologia no RTC-C, havendo melhoria de nível, de C para B. Ao analisar as classificações individuais de cada sistema, pode-se apontar que o sistema de envoltória apresentou o mesmo nível de eficiência em ambas as avaliações. Já o sistema de iluminação apresentou melhor classificação, sendo nível D na avaliação do RTQ-C e nível C na avaliação do INI-C. Já o sistema de condicionamento de ar não teve sua classificação individual definida para a avaliação com a metodologia do INI-C. A avaliação do sistema de envoltória é a etapa que demanda mais tempo e cálculos.

A determinação da eficiência energética do Edifício CAD 1 aqui apresentada adota condições de referência, comparando a edificação com suas características reais à mesma edificação. Assim, a classificação é feita de acordo com a porcentagem de economia de energia. O Edifício CAD 1 apresentou economia de 29,3% em relação

à mesma edificação com componentes construtivos de baixa eficiência equivalentes à classe D.

A abordagem de energia primária foi introduzida, possibilitando integrar diferentes fontes de energia, porém no Edifício CAD 1 utiliza-se apenas energia elétrica.

5.3 Tempo de aplicação das metodologias presentes no RTQ-C e INI-C

O tempo para a avaliação do Edifício CAD 1 pelos métodos presentes no RTQ-C e INI-C é apresentado no Quadro 03. Observou-se o acréscimo de 41% do tempo aplicado na avaliação do método presente no INI-C em relação ao método de avaliação do RTQ-C.

Cabe ressaltar que a avaliadora, neste caso a própria autora, não teve experiência prévia de aplicação dos métodos, assim, mesmo um método já sendo conhecido, o nível de conhecimento para realização das avaliações iniciou-se pela teoria em ambos.

Quadro 03 - Tempo de aplicação das metodologias de avaliação de eficiência energética presentes no RTQ-C e INI-C no Edifício CAD 1

Etapa / Procedimento	Método de avaliação RTQ-C	Método de avaliação INI-C
Leitura e compreensão do regulamento	5 horas	9 horas
Familiarização com os projetos e documentos relacionados	4 horas	5 horas e 30 min
Visita Técnica	3 horas	3 horas
Análise dos pré-requisitos gerais / atendimentos aos limites de aplicação do método	1 hora	3 horas
Análise do sistema de envoltória	21 horas e 30 min	31 horas
Análise do sistema de condicionamento de ar	6 horas e 30 min	8 horas
Análise do sistema de iluminação	9 horas	9 horas
Classificação final	1 hora	1 hora e 30 min
Tempo total	51 horas	72 horas

Fonte: Autora.

Primeiro, aplicou-se a metodologia de avaliação presente no RTQ-C por se conhecer o regulamento. Em seguida, aplicou-se a metodologia presente no INI-C. Como na segunda avaliação realizada algumas etapas já haviam sido contempladas na primeira avaliação, o tempo gasto foi considerado o mesmo.

Durante a aplicação do método presente no INI-C foi necessário reler o regulamento para elucidar dúvidas e compreender os procedimentos a serem realizados. O texto, como está em fase de elaboração, possui algumas incoerências, como erro na numeração de tabelas, que estenderam o tempo para compreensão do mesmo.

Na familiarização com os projetos e documentação foi possível compreender a edificação analisada e extrair as informações necessárias para as avaliações, uma vez que, de modo geral, os projetos estavam bem detalhados. Para a aplicação da metodologia do INI-C foi necessária uma análise dos projetos mais detalhada.

Na avaliação do sistema de envoltória pela metodologia presente no INI-C, foi necessário uso do metamodelo disponibilizado *online* para cálculo da carga térmica de refrigeração da edificação. Essa plataforma não possui ferramenta para salvamento das informações inseridas, nem dos dados de saída. Assim, após o metamodelo gerar os resultados, quando foi necessário alterar algum dado, foi preciso inserir novamente todos os dados das zonas térmicas para que o cálculo fosse refeito. Para arquivamento dos dados de saída, uma tabela no software Excel foi preenchida manualmente.

Para a avaliação do sistema de condicionamento de ar, em ambos os métodos, foi necessária uma visita ao local para verificação dos equipamentos utilizados, uma vez que o caderno de especificação não contempla todas as informações necessárias. Esta etapa requereu um tempo destinado para consulta de catálogos técnicos dos fabricantes dos equipamentos e contato com os mesmos para buscar de informações técnicas necessárias.

A avaliação do sistema de iluminação demandou tempo considerável para levantamento de todas as luminárias instaladas no local, mas foi o sistema em que a análise ocorreu de forma mais fluida, sem necessidades de revisões e com fácil compreensão a partir da leitura dos regulamentos.

Não foram realizados os procedimentos de caráter informativo presentes na metodologia do INI-C, sendo esses: cálculo da economia de água através do uso racional e cálculo das emissões de dióxido de carbono (CO₂). Assim, o tempo de aplicação dos dois métodos refere-se aos mesmos sistemas, sendo envoltória, condicionamento de ar e iluminação. Com isso, a aplicação completa do método de avaliação do INI-C requer um gasto maior de tempo do que o registrado neste estudo.

5.4 Consumo previsto INI-C e consumo real

O consumo de energia elétrica previsto pelo método de avaliação presente no INI-C foi comparado ao consumo de energia elétrica real do Edifício CAD 1 dos anos de 2015 a 2018, como mostra a Tabela 45.

Tabela 45 - Comparativo consumo de energia elétrica real e consumo previsto para o Edifício CAD 1

Ano	Consumo de energia elétrica real (KWh/ano)	Consumo de energia elétrica previsto INI-C (KWh/ano)
2015	278.250,00	882.030,90
2016	214.550,00	
2017	234.500,00	
2018	223.650,00	

Fonte: Autora.

Nota-se que o consumo previsto é bem maior que o consumo real dos últimos anos. Sendo a média dos quatro anos 237.737,50 KWh/ano, tem-se que o consumo previsto encontrado equivale a 3,7 vezes esse valor. A discrepância nos valores pode ser justificada pelo fato de o procedimento de avaliação do INI-C considerar a edificação em pleno funcionamento entre período de abertura e fechamento, ou seja, a potência instalada na edificação, porém nem todas as salas do Edifício CAD 1 são utilizadas na mesma frequência, bem como os auditórios, onde há condicionamento artificial, que são utilizados para eventos esporádicos e representam a maior parte do consumo. A densidade de potência de equipamentos também pode ser destacada, já que não se trabalhou com a capacidade real para o cálculo do consumo previsto, foi utilizado o valor determinado para a tipologia educacional presente no regulamento do INI-C.

5.5 Análise das metodologias avaliadas

A partir da análise dos artigos realizada no Capítulo 2, no qual foram apontadas limitações do método prescritivo de avaliação do RTQ-C e de sua aplicação, bem como da aplicação do método da INI-C no Edifício CAD 1, foi possível avaliar as mudanças ocorridas no método de avaliação e apontar problemas existentes no RTQ-C que foram solucionados pela INI-C e como isso ocorreu, conforme apresentado no Quadro 04.

Quadro 04 - Comparativo entre metodologias de avaliação de eficiência energética em edificações comerciais, de serviços e públicas

Questões levantadas	Nota Técnica RTQ-C	INI-C	Análise crítica
<i>Artigos apontam o problema</i>	<i>Como a NT resolve a questão</i>	<i>Como o novo método resolve esta questão</i>	<i>O problema foi resolvido ou melhorado</i>
Limitação na representação por volumetria da edificação / Impossibilidade das equações descreverem diversas variações volumétricas	NT n.7 Os diferentes blocos de uma edificação devem ser avaliados separadamente e classificados através de ponderação em relação à área da envoltória de cada um deles.	Permite a modelagem de diferentes formas geométricas.	Ainda há limitação da volumetria utilizada para uso do metamodelo para cálculo do PHOC.
Não considera a influência da ventilação natural no método prescritivo e a comprovação das horas de conforto deve ser por simulação	NT n.10 Exclui alguns ambientes da necessidade de comprovação do POC.	Permite a avaliação da ventilação natural através de método simplificado a partir do uso de metamodelo para cálculo do PHOC.	A avaliação da ventilação natural se restringe aos limites do metamodelo utilizado para cálculo do PHOC.
Uso de apenas um padrão de carga térmica interna e padrão de uso e ocupação	-	Permite a especificação do tipo de uso da edificação (escritórios, educacional, hospedagem, hospitalar, varejo, alimentação).	Continua havendo valores fixos que devem ser usados e que apresentam superestimados neste estudo.
Os pré-requisitos de paredes e coberturas podem penalizar a classificação de uma edificação onde estes itens não são representativos	NT n.9 Consideração sobre absorvância de coberturas com aplicação de teto jardim e Telhas Cerâmicas	Permite a entrada das características térmicas de paredes e cobertura, independente de pré-requisitos.	São adotados limites para os parâmetros atendidos pelo método simplificado.
Necessidade de levantamento de dados não significativos na avaliação	-	A entrada de dados se dá por significância no resultado	Torna a avaliação menos generalizada, com isso aumenta o

			número de dados de entrada.
Uso de parâmetros ponderados para toda edificação	-	Permite a entrada de dados de cada zona térmica da edificação.	Torna a avaliação menos generalizada, com isso aumenta o número de dados de entrada.
Considera apenas um tipo de sistema HVAC (Split)	-	Possibilita a avaliação de qualquer sistema de HVAC.	Sistema ainda não está completamente elaborado.
Há suposição quanto ao clima	-	Não adota as 08 zonas bioclimáticas, mas sim 24 grupos climáticos e os metamodelos utilizam arquivos climáticos.	Sim, mas é necessário análises em diferentes grupos climáticos para afirmar.
Utiliza índices de consumo sem relação direta com o consumo de energia da edificação	-	Adota o consumo de energia da edificação como parâmetro de avaliação.	Grande ganho da nova avaliação, porém necessário analisar melhor os padrões utilizados.
Limitação do método estatístico utilizado, regressão linear múltipla	-	Utiliza o método estatístico de redes neurais que se assemelha aos resultados obtidos por simulação.	Durante consultoria de projeto há dificuldade em comparar alternativas diferentes a fim de chegar em um melhor resultado.

Fonte: Autora.

As principais mudanças no método de avaliação ocorreram no sistema de envoltória. Ao dividir a edificação em zonas térmicas e considerar seus parâmetros no metamodelo disponibilizado, deixa-se de adotar valores ponderados para o edifício como um todo e tem-se uma análise com mais representatividade do modelo. Tal procedimento elevou o tempo de análise, o que pode ser bem significativo em edificações com diversificação dos padrões de ocupação do ambiente, das densidades de instalação de iluminação e equipamentos e do tipo de equipamento de condicionamento de ar, já que essas variações elevam o número de zonas térmicas e, com isso, o número de cálculos a serem realizados.

A introdução de novas tipologias de edificações (escritórios, educacionais, hospedagem, hospitalar, comercial) permitiu maior representatividade, uma vez que o regulamento forneceu tabelas com informações típicas do uso para cada tipo de edificação, como densidade de potência de equipamentos e iluminação, taxas de ocupação, números de horas e dias de ocupação no ano, além de outras características comuns ao tipo de edificação.

A ausência de pré-requisitos, que foram questionados devido à possibilidade de penalizar a classificação de uma edificação, é compensada pelo fato de que as redes neurais presentes no metamodelo calculam a carga térmica anual resultante de cada uma das diferentes características termofísicas da edificação avaliada, impedindo que haja uma penalidade devido ao aumento do valor de uma variável que não gera consumo significativo.

O entorno passou a ser considerado através do ângulo de obstrução vizinho. Já em relação ao clima, pode-se entender que este tornou mais condizente com a localização do edifício, uma vez que o metamodelo adota dados climáticos para avaliação da ventilação natural e as demais análises adotam a divisão do país em 24 grupos climáticos e não mais 08 zonas bioclimáticas.

A avaliação da ventilação natural no método simplificado permite calcular as horas em conforto térmico da edificação através de metamodelo. Porém, os limites definidos não são representativos da maioria das edificações existente. Assim, a necessidade de adaptar o modelo para atender a esses limites pode comprometer os resultados alcançados. Além disso, o metamodelo atende apenas edificações escolares e de escritórios, sendo que para as demais tipologias é necessária a simulação computacional.

A indicação dos consumos de energia por uso final permitiu a identificação dos sistemas que mais consomem energia e os mais econômicos, permitindo que um perfil da edificação seja traçado. Isso permite determinar onde é necessário haver melhorias para obtenção de maior eficiência, ou seja, onde o investimento propicia um melhor *feedback*. No entanto, o valor superestimado encontrado, mostra que ainda são necessárias revisões nos padrões utilizados.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo se propôs a analisar a aplicabilidade do novo método de avaliação do nível de eficiência energética em edificações comerciais, de serviços e públicas apresentado na Instrução Normativa Inmetro (INI-C) e comparar sua aplicação com o método de avaliação presente no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C), que está em vigor.

A partir da Revisão Bibliográfica presente no Capítulo 2 foi possível identificar limitações no método de avaliação do RTQ-C. Assim, buscou-se analisar se a INI-C atua nessas limitações e como as resolve. Objetivou-se, ainda, compreender a influência das mudanças na classificação final e comparar o consumo previsto com o consumo real.

Os procedimentos adotados seguiram as metodologias de avaliação do nível de eficiência energética presentes nos regulamentos analisados, RTQ-C e INI-C. Para aplicação dos métodos foi determinado um estudo de caso, o Edifício CAD 1 localizado no campus da Universidade Federal de Minas Gerais, cuja volumetria vai além de um bloco retangular, que é a principal tipologia considerada durante a elaboração das metodologias de avaliação. E apresenta sistema de condicionamento de ar natural e artificial, já que a avaliação da ventilação natural é um diferencial entre os métodos. Assim, foi possível aplicar os métodos em situações que são identificadas no dia a dia da etiquetagem no mercado nacional.

Para alcançar os objetivos definidos, este estudo buscou considerar como resultados não só as classificações obtidas, ou seja, os valores encontrados, mas uma análise de todo o processo para chegar à determinação do nível de eficiência.

O procedimento para aplicação do método de avaliação do INI-C requer que o avaliador tome decisões que não estão discriminadas no método. Isso ocorreu na determinação do $PHOC_T$, pois o metamodelo apresentou incapacidade de gerar

resultados, mesmo com o edifício atendendo aos limites apresentados. Assim, foi necessário fazer adaptações no modelo analisado para que o metamodelo retornasse o dado de saída. Como os ambientes com ventilação natural não alcançaram o $PHOC_T > 90$, estes tiveram sua carga térmica calculada para o percentual de horas em desconforto.

Quanto ao dimensionamento da CgT_{REFRIG} foi necessário um número significativo de cálculos para a determinação dos parâmetros de entrada devido à grande quantidade de zonas térmicas existentes no Edifício CAD 1. Apesar de um maior dispêndio de tempo na avaliação, tal procedimento garante que sejam consideradas características específicas da edificação, não havendo uma ponderação da edificação como um todo como anteriormente no RTQ-C.

A interface disponibilizada para realização do dimensionamento da CgT_{REFRIG} através de redes neurais artificiais não apresenta ainda opção de salvamento dos dados inseridos nem dos resultados. O que poderia ser resolvido com a disponibilização de exportação dos dados para *softwares* compatíveis, como o Excel. Assim, caso houvesse necessidade de alteração de algum dado ou se quisesse analisar uma situação distinta com a modificação das variáveis, não seria necessário inserir todos os dados novamente.

A avaliação do sistema de envoltória passou a considerar para o cálculo da carga térmica tanto ganhos e perdas externos, quanto internos referentes ao aquecimento gerado pelo sistema de iluminação e equipamentos, além de distinguir o pavimento de cobertura dos demais e se o ambiente realiza troca com o meio externo ou interno.

A classificação da envoltória se manteve a mesma nas duas avaliações realizadas, mesmo os procedimentos considerando novas variáveis e nova metodologia de cálculo. Com isso, se faz necessário novas aplicações dos métodos para analisar se esse resultado se mantém.

A avaliação do sistema de condicionamento de ar se mantém a mesma para equipamentos etiquetados pelo Inmetro. Para os equipamentos não etiquetados, a

metodologia do INI-C apresenta algumas inconsistências e acredita-se que ainda esteja sendo desenvolvida. Quanto ao cálculo de consumo do sistema, este foi realizado considerando a CgT_{REFRIG} do Edifício CAD 1 encontrada na avaliação do sistema de envoltória.

A avaliação do sistema de iluminação não apresentou diferenças significativas entre os processos analisados. Na metodologia do RTQ-C, todos os ambientes tiveram os pré-requisitos analisados e receberam uma classificação junto com o equivalente numérico. A partir de uma ponderação entre os equivalentes e a área dos ambientes definiu-se o nível de eficiência. Já no método presente no INI-C, a partir da potência total instalada, das horas de uso e dos dias de uso ao longo do ano determinou-se o consumo em KWh/ano. A escala de eficiência foi criada a partir desse consumo e o nível determinado. Apenas para o nível A é necessário analisar requisitos. A melhor classificação obtida na avaliação pelo INI-C mostra que isso ocorreu em parte pela ausência dos pré-requisitos, já que estes foram responsáveis pela queda de nível em 71% dos ambientes com classificações parciais A e B. Outro fator para melhoria na classificação foi o fato de alguns valores limites de densidade de potência instalada terem sofrido leve diminuição.

A determinação do nível de eficiência energética pelo RTQ-C ocorre através de uma equação e os sistemas receberam pesos, sendo o maior para o sistema de condicionamento de ar. Na avaliação do INI-C, a determinação da classificação foi feita a partir dos consumos individuais dos sistemas de condicionamento de ar, iluminação e equipamentos. Com o consumo por uso final é possível identificar qual sistema demanda mais energia e usar essa informação para tomadas de decisões, como por exemplo, definir em qual sistema melhorar a eficiência a fim de se obter uma economia no consumo final. No Edifício CAD 1, o maior consumo se deu no sistema de condicionamento de ar, que representou 44% do consumo total previsto, seguido pelo sistema de iluminação, 30%, e equipamentos, 26%. Esta etapa requer cálculos simples e rápidos de serem realizados. A introdução da previsão de consumo em KWh/ano na etiqueta traz uma informação mais palpável para o consumidor e pode ser utilizada para comparação durante a escolha de uma edificação.

O tempo para realização das avaliações apresentou um acréscimo de 41% na avaliação do método presente no INI-C em relação ao método de avaliação do RTQ-C. Sendo estes acréscimos referentes, principalmente, à compreensão do método e aplicação no sistema de envoltória, que passa a englobar mais dados de entrada para maior representatividade do modelo, o que pode justificar o tempo gasto.

Ao comparar o consumo previsto para o Edifício CAD 1 e o consumo real, houve uma grande discrepância de valores. O que mostra que o método não conseguiu aproximar seu resultado do consumo real. Acredita-se que esse aumento no valor do consumo ocorreu devido o método considerar a edificação em pleno funcionamento durante todo o tempo informado entre a abertura e fechamento do edifício, porém não é o que ocorre. O Edifício CAD 1 abre às 8:00h e fecha às 22:00h, totalizando 14 horas em funcionamento, e por tratar de edifício educacional, é utilizado durante 200 dias no ano. Mas as salas de aulas não ficam em uso constante durante todo esse período, bem como, os auditórios, sendo estes últimos ambientes com condicionamento artificial e responsáveis pela a maior parte do consumo final. Outro fator é que a densidade de potência de equipamentos (W/m^2) utilizada nos cálculos é um valor fixo determinado no regulamento e pode estar superestimado, bem como o padrão de ocupação ($m^2/pessoa$). Com isso, se faz necessária a revisão dos padrões definidos e de *benchmarks* para que aproxime mais o consumo previsto do real.

6.1. Limitações na realização da pesquisa

Durante a realização deste trabalho, foram encontradas algumas limitações. Estas estão relacionadas ao número de edifício analisado. O trabalho se limitou:

- Ao tamanho da amostra, que mesmo atendendo à complexidade da volumetria desejada e diferentes tipos de condicionamento de ar, com apenas um estudo de caso utilizado não foi possível comparações dos resultados encontrados;
- A não variação climática da amostra.

6.2. Sugestões para pesquisas futuras

A partir dos resultados encontrados e das limitações apresentadas, sugere-se alguns itens que podem ser investigados em trabalhos futuros:

- Avaliar outros edifícios existentes pelos procedimentos simplificados, com a aplicação em edificações localizadas em distintas ZBs;
- Avaliar a influência das adaptações realizadas para cálculo do PHOC_T através do metamodelo de Rackes *et al.* (2016);
- Realizar a simulação computacional para comparação com o método simplificado e com o consumo real da edificação em análise;
- Avaliar a alterações nos padrões de uso definidos para a tipologia educacional.
- Avaliar a última atualização do texto da Instrução Normativa Inmetro – Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas divulgada em novembro de 2020.

REFERÊNCIAS

- 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, 2003.
- ALBRUQUERQUE, R. T.; LACERDA, M. A.; KRAUSE, C. B. Avaliação dos níveis de eficiência energética da escola estadual Erich Walter Heine sob a ótica dos métodos LEED, AQUA E PROCEL Edifica. In: Encontro Latino-americano de Edificações e Comunidades Sustentáveis, 2013, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ELECS, 2013.
- BELO HORIZONTE. Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. **Relatórios mensais de processos de Licenciamento e Regularização da SUREG**. Belo Horizonte, 2019. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/politica-urbana/regulacao-urbana/relatorios/edificacoes>. Acesso em: out. 2019.
- BRANDÃO, G. C.; SOUZA, R. V. G. Análise do potencial de economia de energia elétrica nos pavimentos de garagem de uma edificação etiquetada, considerando o pré-requisito de contribuição da luz natural do RTQ-C. In: XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2014, Maceió. **Anais...** Maceió: ENTAC, 2014.
- BRANDALISE, M.; AVILA, V.; OLIVERIA, L.; CUNHA, E. Análise da sensibilidade do método prescritivo do RTQ-C quanto à variação de densidade de carga interna. In: XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2014, Maceió. **Anais...** Maceió: ENTAC, 2014.
- BRASIL. **Lei n. 10.295**, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Brasília, DF, 2001. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/qualidade/lei10295.pdf>. Acesso em: mai. 2018.
- _____. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). **Portaria n° 372**, 17 de setembro de 2010. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: www.inmetro.gov.br/legislacao. Acesso em: mai. 2018.
- _____. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E). Nota Técnica Referente à Alteração da Zona Bioclimática de Maringá/PR determinada pela NBR15220- 3, **NT n° 05/2011**. Florianópolis, 2011, 01 p.
- _____. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). **Portaria n° 299**, 19 de junho de 2013. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: www.inmetro.gov.br/legislacao. Acesso em: mai. 2018.

_____. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Instrução Normativa nº2**, de 04 de junho de 2014a. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://www.comprasgovernamentais.gov.br>. Acesso em: mai. 2018.

_____. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). **Manual para a Aplicação do RAC**. Vol. 4.3. Brasília, 2014b. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/comercial/manuais>. Acesso em: abr. 2019.

_____. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E). Nota Técnica Referente à Etiqueta de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas em Blocos, **NT nº 07/2014**. Florianópolis, 2014c, 05 p.

_____. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E). Nota Técnica Referente à Absortância de Coberturas com Aplicação de Teto Jardim e Telhas Cerâmicas, **NT nº 09/2015**. Florianópolis, 2015a, 01 p.

_____. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E). Nota Técnica Referente ao Uso de Vidros Serigrafados em Vedações Externas, **NT nº 10/2015**. Florianópolis, 2015b, 03 p.

_____. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E). Nota Técnica Referente ao Uso de Vidros Serigrafados em Vedações Externas, **NT nº 15/2015**. Florianópolis, 2015c, 03 p.

_____. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E). Nota Técnica Referente ao Cálculo da Absortância de Superfícies com Painéis Fotovoltaicos do RTQ-C, **NT nº 17/2016**. Florianópolis, 2016a, 02 p.

_____. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E). Nota Técnica Referente à Avaliação do Sistema de Iluminação em escadas do RTQ-C, **NT nº 19/2016**. Florianópolis, 2016b, 04 p.

_____. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E). Nota Técnica sobre a consideração de aberturas com sistemas de proteções solares paralelas à fachada – método prescritivo do RTQ-C, **NT nº 20/2016**. Florianópolis, 2016c, 04 p.

_____. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). **Manual para a Aplicação do RTQ-C**. Vol. 4.1. Brasília, 2017. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/comercial/manuais>. Acesso em: abr. 2019.

_____. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). **Portaria n.º 248**, de 10 de julho de 2018. Consulta Pública - Aperfeiçoamento do Regulamento Técnico da Qualidade

para a Classe de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Disponível em:
<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002520.pdf>. Acesso em: abr. 2019.

_____. **Decreto nº 9.864**, de 27 de junho de 2019. Brasília, 2019. Disponível em:
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2019/Decreto/D9864.htm#art19. Acesso em: abr. 2020.

_____. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2020 – Ano base 2019**: Relatório Síntese. Rio de Janeiro, 2020a. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020.pdf>. Acesso em: out. 2020.

_____. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). **Tabelas de eficiência de edificações comerciais, de serviço e públicas**. Rio de Janeiro, 2020b. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/tabelas-comerciais.pdf>. Acesso em: abr. 2020.

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, 2010.

CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (CB3E). **Introdução ao novo método de avaliação do PBE Edifica**. Florianópolis, 2016. Disponível em: <http://cb3e.ufsc.br/etiquetagem/desenvolvimento/atividades-2012-2016/trabalho-1/pesquisas>. Acesso em: mai. 2018.

DORNELLES, Kelen Almeida. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA**. 2008. 160p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

FONSECA, R. W., da; PEREIRA, F. O. R. Sequência metodológica para a estimativa da iluminação natural e suas implicações em sistemas de avaliação de desempenho de edificações. In: XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2015, Campinas. **Anais...** Campinas: ENCAC-ELACAC, 2015.

GELLER, Howard S. **Revolução energética**: política para um futuro sustentável; tradução Maria Vidal Barbosa; revisão técnica Marcio Edgar Schuler. Rio de Janeiro: Relume Dumará: USAid, 2003.

HENSEN, J. L. M.; LAMBERTS, R. (Ed.). **Building performance simulation for design and operation**. Londres, 2011.

LOPES, A. C. P.; OLIVEIRA FILHO, D.; ALTOE, L.; CARLO, J. C.; LIMA, B. B. Energy efficiency labeling program for buildings in Brazil compared to the United

States' and Portugal's. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Elsevier, n. 66, p. 2017-219, 2016.

MELO, Ana. Paula. **Desenvolvimento de um método para estimar o consumo de energia de edificações comerciais através da aplicação de redes neurais**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

MELO, A. P.; CÓSTOLA, D.; LAMBERTS, R.; HENSEN, J. L. M. Desenvolvimento de um método para aprimorar a precisão do método prescritivo da etiquetagem PROCEL/INMETRO para edifícios comerciais. In: XII Encontro Nacional e VIII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2013, Brasília. **Anais...** Brasília: ENCAC-ELACAC, 2013.

MELO, A. P.; FOSSATI, M.; LAMBERTS, R. Desenvolvimento de metodologia para definição de escalas de eficiência energética de edificações comerciais. In: IX Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 2012, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: CBPE, 2014.

PESSOA, J. L. N.; GHISI, E; LAMBERTS. **Estado da Arte em Eficiência Energética: Iluminação e Envoltória**. Centro Brasileiro de Eficiência Energética de Edificações. Julho, 2013.

PSF - *Python Software Foundation*. Python 2.7.0 Release Versão 2.7, 2010. Disponível em: <https://www.python.org/download/releases/2.7/>. Acesso em: set. 2019.

PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM (PBE). Fórum RTQ-C 2019. Disponível em: <http://pbeedifica.com.br/forum/>. Acesso em: set. 2019.

RACKES, A.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. *Naturally comfortable and sustainable: Informed design guidance and performance labeling for passive commercial buildings in hot climates*. *Applied Energy*, n. 174, p. 256-274, 2016.

RIBEIRO, Natalia Fernandes. **Procedimentos simplificados para a avaliação da envoltória pelo método prescritivo do RTQ-C, com foco em edificações existentes**. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) – Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

SANTOS, I. G.; DORNELLE, K. A.; SOUZA, R. V. G. Absortância solar de superfícies e o regulamento brasileiro para eficiência energética de edifícios. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2010, Canela. **Anais...** Canela: ENTAC, 2010.

SANTOS, I. G.; SOUZA, R. V. G. Proteções solares no Regulamento brasileiro de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 227-241, jan./mar. 2012.

SILVA, A. S.; ALMEIDA, L. S. S.; ANDREASI, W. A. Avaliação da eficiência energética de uma edificação pública de ensino superior de acordo com o RTQ-C e proposta de soluções eficientes tecnicamente. In: XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2012, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: ENTAC, 2012.

TAVARES, L. R.; AMORIM, C. N.D. Eficiência energética da envoltória: comparação dos métodos prescritivo e simulação do regulamento técnico da qualidade do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos. In: XII Encontro Nacional e VIII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2013, Brasília. **Anais...** Brasília: ENCAC-ELACAC, 2013.

VELOSO, A. C. O.; SOUZA, R. V. G., KOURYR. N. N. Comparação entre os métodos prescritivo e de simulação do RTQ-C a partir de dados reais de consumo e ocupação. In: XII Encontro Nacional e VIII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2013, Brasília. **Anais...** Brasília: ENCAC-ELACAC, 2013.

ZHANG, I. Impact of model simplification on energy and comfort analysis for dwellings. In: 13th Conference of International Building Performance Simulation Association, 2013, França. **Anais...** Chambéry: IBPSA, 26-28 ago. p. 1184-1192. Disponível em: http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2013/p_1502.pdf. Acesso em: nov. 2018.