

Natalia Fernandes Ribeiro

**PROCEDIMENTOS SIMPLIFICADOS PARA A AVALIAÇÃO DA ENVOLTÓRIA
PELO MÉTODO PRESCRITIVO DO RTQ-C, COM FOCO EM EDIFICAÇÕES
EXISTENTES**

Belo Horizonte - MG

Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais

Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável

Setembro, 2016

Natalia Fernandes Ribeiro

PROCEDIMENTOS SIMPLIFICADOS PARA A AVALIAÇÃO DA ENVOLTÓRIA PELO
MÉTODO PRESCRITIVO DO RTQ-C, COM FOCO EM EDIFICAÇÕES EXISTENTES

Dissertação apresentada ao curso de Ambiente
Construído e Patrimônio Sustentável da Escola de
Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais,
como requisito para a obtenção do título de Mestre.

Orientação: Roberta Vieira Gonçalves de Souza

Belo Horizonte - MG
Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais
Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável
Setembro, 2016

FICHA CATALOGRÁFICA

R484p

Ribeiro, Natalia Fernandes.

Procedimentos simplificados para a avaliação da envoltória pelo método prescritivo do RTQ-C, com foco em edificações existentes [manuscrito] / Natalia Fernandes Ribeiro. – 2016.

140f. : il.

Orientadora: 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 – Conservação - Teses. 3. Energia elétrica – Consumo - Teses. I. Souza, Roberta Vieira Gonçalves de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Arquitetura. III. Título.

CDD 621.31

Ficha catalográfica: Biblioteca Raffaello Berti, Escola de Arquitetura/UFMG

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai, meu eterno exemplo.

À minha família, pelo apoio, amor e paciência nos momentos de ausência. Em especial à Fabiana, pelas oportunidades e pela vivência compartilhadas.

À minha orientadora Roberta Souza. Obrigada pelo conhecimento compartilhado e pela paciência.

Aos membros da banca, Prof.^a Joyce Carlo e Iraci Pereira. Obrigada pela disponibilidade e pelas contribuições fundamentais durante a Qualificação.

Aos professores da UFMG, em especial à Prof.^a Grace Gutierrez, pelas indicações e pelo grande incentivo na realização deste trabalho.

Aos amigos do LABCON/UFMG, pelo conhecimento compartilhado e pelas dicas fundamentais para a elaboração deste trabalho.

Aos amigos do MACPS/UFMG, por estarem sempre ao meu lado, mesmo nos momentos de maior dificuldade. Em especial: Taís, Andréia, Fabiana, Maria Letícia e Janaína.

Ao meu “Bonde”, amigas que levo sempre no meu coração.

A todos os profissionais que contribuíram com o fornecimento de material para a realização deste estudo. Em especial à equipe do DPFO/UFMG, à Márcia Moreira, à Carolina Vilela, à Thaís Valle e ao Thiago Alves. Agradeço a todos pela confiança e disponibilidade.

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

À FAPEMIG e à CAPES, pelo financiamento desta pesquisa.

Por fim, agradeço a Deus. Compartilho com meu pai a mesma fé, pois, para Deus nada é impossível.

A todos, a minha sincera gratidão.

RESUMO

A Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia foi estabelecida pela primeira lei brasileira de eficiência energética, Lei nº.10.295, de 2001. Como consequência desta e de outras ações em prol da eficiência energética, em 2009, foi lançado o programa de etiquetagem voluntária de edificações. O RTQ-C indica requisitos técnicos e métodos de classificação de edificações comerciais, de serviços e públicas, todavia, após sete anos de seu lançamento, pode-se considerar o número de edificações etiquetadas baixo, quando comparado ao número de construções novas no país e ao extenso campo já edificado. Tal fato pode ser explicado pelas limitações no entendimento e aplicação dos métodos de avaliação do regulamento. Esta dissertação tem como objetivo propor procedimentos simplificados para a determinação das variáveis relacionadas aos pré-requisitos da Envoltória e às equações do Indicador de Consumo da Envoltória (IC_{env}), para a avaliação do nível de eficiência energética de edifícios existentes, segundo o Método Prescritivo do RTQ-C. A metodologia é dividida em cinco etapas. A primeira trata de uma análise inicial do panorama da etiquetagem, e, na segunda há a determinação de estudos de caso. A terceira, consiste na elaboração de simplificações para o cálculo das variáveis para a avaliação da Envoltória, pelo RTQ-C. A quarta etapa apresenta a validação das simplificações propostas, por meio dos avaliação de estudos de caso, a partir dos procedimentos simplificados propostos e dos procedimentos vigentes, recomendados pelo regulamento. A quinta etapa consta da comparação entre a avaliação por ambos os procedimentos, quanto às variáveis, o IC_{env} , o nível de eficiência e o tempo de avaliação. Como resultados foram estabelecidos procedimentos simplificados para a avaliação das variáveis: Áreas (A_{pe} , A_{pcob} , A_{env} , A_{tot} e V_{tot}); transmitância térmica e absorvância à radiação solar de paredes e coberturas; PAZ; PAF; FS; e Ângulos de Sombreamento (AVS e AHS). Foram avaliados quatro edifícios existentes a partir dos procedimentos simplificados propostos, e, a comparação dos resultados frente aos procedimentos vigentes indicou que as variações não foram significativas, e, que não houve a alteração no nível de eficiência estabelecido. A partir da análise do tempo aplicado para avaliação dos edifícios, por sua vez, houve redução maior que 80%, quando aplicados os procedimentos simplificados. Considera-se, portanto, a partir dos resultados obtidos neste estudo, que os procedimentos simplificados podem ser incorporados para a avaliação da Envoltória, segundo o RTQ-C.

Palavras-chave: Etiquetagem de Edificações; Método Prescritivo do RTQ-C; Procedimentos Simplificados.

ABSTRACT

The National Conservation and Rational Use of Energy Policy was established by the first Brazilian law for energy efficiency, Law n°. 10,295 of 2001. As a result of this and other actions to improve energy efficiency in buildings, in 2009, there was launched the voluntary certification program for buildings. The regulation (RTQ-C) indicates technical requirements and methods to classify commercial, services and public buildings, however, after seven years of the release, the number of certificated buildings is low if compared to the number of new buildings and the extensive field already built in Brazil. This can be explained by the limitations to understand and apply the labeling methods to evaluate buildings. This thesis aims to propose simplified procedures for the determination of the variables of the buildings envelopment, related to the prerequisites and equations of the consumption indicator (IC_{env}), to evaluate the level of energy efficiency of existing buildings, according to the Prescriptive Method of the RTQ-C. The methodology is divided into five main stages. The first stage is an initial analysis of the studied topics and an overview of buildings certification, and the second stage is the determination of cases to be studied. The third stage is the simplification proposals for the variables to evaluate the buildings envelopment. The fourth stage shows the validation of the proposed simplifications, through the evaluation of case studies. For this matter was used the proposed simplified procedures and the procedures recommended by the regulation. The fifth stage consists of comparing the results achieved with the assessment by both procedures, for the variables of the IC_{env} , for the level of efficiency and for the evaluation term. The results achieved were the simplified procedures for the assessment of the envelopment's variables: Areas (A_{pe} , A_{pcob} , A_{env} , A_{tot} and V_{tot}); thermal transmittance and absorbance of external surfaces; PAZ; PAF; FS; and shading angles (AVS and AHS). Four existing buildings were evaluated by both procedures and the results indicated that the changes were not significant, and, there was no change in the set level of efficiency. From the analysis of the time applied on the assessment of the buildings, there was a reduction greater than 80%, when the simplified procedures were applied. Therefore, from the results of this study, it is considered that the simplified procedures can be incorporated for the assessment of the buildings envelopment, according to the methods of the RTQ-C.

Keywords: Labeling; RTQ-C Prescriptive Method; Simplified Procedures.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC – Área Condicionada
ADENE – Agência Nacional de Energia de Portugal
AHS - Ângulo Horizontal de Sombreamento
ANC – Área Não Condicionada
ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
ASTM - American Society for Testing and Materials
AVS - Ângulo Vertical De Sombreamento
 A_{pcob} – Área de Projeção da Cobertura
 A_{pe} – Área de Projeção da Edificação
 A_{env} – Área da Envoltória
 A_{tot} – Área Total Construída
BEN – Balanço Energético Nacional
CB3E – Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações
CERTI - Fundação Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras
 C_T – Capacidade Térmica
DPFO - Departamento de Planejamento Físico e Obras - *campus* UFMG
ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
FA – Fator Altura
FF – Fator de Forma
FS – Fator Solar
GBC – Green Buildings Council
INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
LABCON/UFMG – Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética da Universidade Federal de Minas Gerais
LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (UFSC)
LEED – Leadership in Energy and Environmental Design
NBR – Norma Brasileira
NT- Nota Técnica
OIA – Organismo de Inspeção Acreditado
PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem
 PAF_T – Percentual de Abertura de Fachada Total
 PAF_O – Percentual de Abertura de Fachada Oeste
PAZ – Percentual de Abertura Zenital
PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

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

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

RTQ-R – Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais

R_t – Resistência Térmica

R3E – Rede de Eficiência Energética em Edificações

SCE – Sistema de Certificação Energética (Portugal)

U – Transmitância Térmica

UE – União Europeia

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

UFV – Universidade Federal de Viçosa

V_{tot} – Volume total da edificação

ZB - Zona Bioclimática

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 01 – Refletância envelhecida de uma superfície.....	45
Equação 02 – IC_{env} para $A_{pe} > 500 \text{ m}^2$, para a ZB 02 ou 03.....	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Classes Energéticas do SCE.....	26
Figura 02 - Requisitos avaliados pelo RCCTE.....	28
Figura 03 - Classe energética dos edifícios novos e existentes.	31
Figura 04 - Classes energéticas para edifícios existentes.....	32
Figura 05 - Consumo de energia elétrica no Brasil por setor (ano base 2015).....	33
Figura 06 - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE).....	38
Figura 07 – Fluxograma das etapas metodológicas do presente estudo.....	64
Figura 08 – Implantação do Edifício I.....	77
Figura 09 - Fachada Sul do Edifício I.....	78
Figura 10 - Fachada Oeste do Edifício I.....	78
Figura 11 - Fachada Norte do Edifício I.....	78
Figura 12 – Implantação do Edifício II.....	79
Figura 13 – Fachada SE do Edifício II.	80
Figura 14 – Implantação do Edifício III.	80
Figura 15 – Fachada Leste do Edifício III.....	81
Figura 16 – Implantação do Edifício IV.....	82
Figura 17 – Fachada Norte do Edifício IV.....	82
Figura 18 – Medição da espessura da parede externa do Edifício I.....	87

Figura 19 - Considerações sobre reentrâncias e saliências.....	99
Figura 20 - Amostra de vidro monolítico e laminado, respectivamente.....	101
Figura 21 - Amostras com as cores de vidros identificadas.....	101
Figura 22 - Refletância dos vidros: sem reflexão, baixa e alta refletividade.....	102
Figura 23 - Ângulos de sombreamento padrão propostos.....	106
Figura 24 – Divisão do Edifício II em blocos.....	112

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Barreiras à eficiência energética e políticas para superá-las.....	24
Quadro 02 – Coeficientes de Transmissão Térmica dos diferentes tipos de paredes exteriores.....	29
Quadro 03 – Pré-requisitos a serem atendidos por nível de eficiência.....	42
Quadro 04 – Limites para o FS em relação ao PAZ para coberturas.....	47
Quadro 05 – Limites para o FF de acordo com as Zonas Bioclimáticas.....	50
Quadro 06 – Edifícios e seus respectivos PAF_T	52
Quadro 07 – Procedimentos para a Etiquetagem pelo Método Prescritivo e o Tempo de Análise.....	62
Quadro 08 – Edifícios selecionados como estudos de caso e suas principais características.....	66
Quadro 09 - Variáveis testadas em cada estudo de caso.....	67
Quadro 10 - Combinação dos ângulos de sombreamento.....	73
Quadro 11 - Procedimentos identificados para avaliação dos pré-requisitos da Envoltória.....	84
Quadro 12 - Procedimentos identificados para avaliação do IC_{env}	85

Quadro 13 - Dados de absorvância de superfícies rugosas.....	95
Quadro 14 - Valor do IC _{env} com o aumento dos ângulos de sombreamento.....	104
Quadro 15 - Nível de Precisão das Variáveis – Edifício I.....	108
Quadro 16 – Transmitância térmica das superfícies externas simplificada.....	108
Quadro 17 - Transmitância térmica das superfícies externas – Edifício I.....	109
Quadro 18 – Absorvância à Radiação Solar das superfícies externas simplificada – Edifício I.....	109
Quadro 19 - Absorvância à Radiação Solar média superfícies externas – Edifício I...	110
Quadro 20 – IC _{env} e nível de eficiência da Envoltória – Edifício I.....	112
Quadro 21 - Nível de Precisão das Variáveis – Edifício II.....	113
Quadro 22 - Transmitância térmica das superfícies externas simplificada.....	114
Quadro 23 - Transmitância térmica das superfícies externas – Edifício II.....	114
Quadro 24 – Absorvância à Radiação Solar das superfícies externas simplificada – Edifício II.....	115
Quadro 25 – Absorvância à Radiação Solar das superfícies externas – Edifício II...	115
Quadro 26 – Variação percentual da absorvância em relação ao procedimento simplificado e vigente.....	116
Quadro 27 – IC _{env} e nível de eficiência da Envoltória – Edifício II.....	117
Quadro 28 - IC _{env} e nível de eficiência da Envoltória simplificado – Edifício II.....	118
Quadro 29 - IC _{env} e nível de eficiência da Envoltória – Edifício II.....	118
Quadro 30 - Variação percentual do IC _{env} entre os procedimentos.....	118
Quadro 31 – Nível de eficiência do IC _{env} para o Edifício II.....	119
Quadro 32 – Tempo de aplicação dos procedimentos – Edifício I.....	119
Quadro 33 - Tempo de aplicação dos procedimentos – Edifício II.....	120

Quadro 34 – Variáveis para a equação do IC_{env} – Edifício III.....	121
Quadro 35 – IC_{env} e nível de eficiência da envoltória – Edifício III.....	122
Quadro 36 – Variáveis para a equação do IC_{env} – Edifício IV.....	121
Quadro 37 – IC_{env} e nível de eficiência da envoltória – Edifício IV.....	122

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Classificação Geral de edificações segundo a pontuação total.....	36
Tabela 02 - Dados Gerais das ENCEs emitidas até JAN/2016.....	39
Tabela 03 - Síntese dos limites para Transmitância Térmica de Paredes Externas.....	43
Tabela 04 - Síntese dos limites para Transmitância Térmica de Coberturas.....	43
Tabela 05 – Relação da % de área livre para iluminação por tipo de esquadria.....	51
Tabela 06 - Influência média dos parâmetros da envoltória, em %.....	55
Tabela 07 – Limites para Transmitância Térmica de Paredes Externas, acrescidos em 10%.....	88
Tabela 08 – Tabela de Composições para Paredes Externas.....	90
Tabela 09 – Limites para Transmitância Térmica de Coberturas, acrescidos em 10%.....	93
Tabela 10 - Tabela de Composições para Coberturas.....	94
Tabela 11 – Tabela da Absortância de tintas.....	98
Tabela 12 – Tabela da Absortância de Superfícies.....	99
Tabela 13 – Tabela do Fator Solar de Vidros.....	104
Tabela 14 - IC_{env} de acordo com a combinação dos ângulos de sombreamento para o Edifício I.....	106
Tabela 15 - Variáveis para a equação do IC_{env} – Edifício I.....	114

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
1.1. Justificativa e Relevância do Tema	17
1.2. Objetivos	19
1.2.1. Geral	19
1.2.2. Específicos.....	19
1.3. Estrutura do Trabalho.....	20
2. REVISÃO DE BIBLIOGRAFIA	22
2.1. Eficiência Energética em Edificações	22
2.2. Avaliações e Certificações Ambientais	25
2.2.1. Sistema Nacional de Certificação de Edifícios: o SCE	26
2.3. Incentivos à Eficiência Energética em Edificações no Brasil	33
2.4. Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos: o RTQ-C.....	35
2.4.1. Avaliação Geral de Edificações pelo Método Prescritivo	37
2.4.2. Perfil dos Edifícios Etiketados	39
2.5. Envoltória de Edifícios.....	40
2.5.1. Pré-requisitos para a Avaliação da Envoltória pelo Método Prescritivo	42
2.5.1.1. Transmitância Térmica (U)	42
2.5.1.2. Absortância à Radiação Solar (α).....	44
2.5.1.3. Percentual de Abertura Zenital	46
2.5.2. Indicador de Consumo da Envoltória (IC _{env}) para a Avaliação pelo Método Prescritivo	47
2.5.2.1. Áreas: Fator Altura (FA) e Fator de Forma (FF).....	49
2.5.2.2. Percentual de Abertura da Fachada (PAF).....	50
2.5.2.3. Fator Solar (FS) de superfícies translúcidas.....	52
2.5.2.4. Ângulos de Sombreamento: AHS e AVS.....	54
2.6. Sensibilidade do IC _{env} frente às Variáveis da Equação da Envoltória	54
2.7. Considerações sobre a Avaliação da Envoltória pelo Método Prescritivo: Potencialidades e Limitações.....	56

2.7.1. Documentos Auxiliares ao RTQ-C: Manuais e Notas Técnicas	57
2.7.2. Avaliação da Envoltória de Edificações Existentes.....	60
2.7.3. Considerações sobre o Tempo e o Custo da Etiquetação.....	61
3. METODOLOGIA	64
3.1. Análise Inicial: Revisão de Bibliografia	64
3.1.1. Panorama da Etiquetação.....	64
3.1.2. Análise da Aplicação do Método Prescritivo na Avaliação da Envoltória ...	65
3.2. Determinação dos Estudos de Caso	66
3.3. Procedimentos para a Determinação das Variáveis da Envoltória.....	67
3.3.1. Determinação dos Níveis de Precisão dos Procedimentos Vigentes	68
3.3.2. Proposta de Procedimentos Simplificados para a Avaliação de Edificações Existentes	68
3.3.2.1. Transmitância Térmica (U)	69
3.3.2.2. Absortância à Radiação Solar (α).....	69
3.3.2.3. Percentual de Abertura Zenital (PAZ).....	71
3.3.2.4. Áreas.....	71
3.3.2.5. Percentual de Abertura da Fachada (PAF).....	71
3.3.2.6. Fator Solar (FS).....	72
3.3.2.7. Ângulos de Sombreamento: AHS e AVS.....	72
3.4. Avaliação dos Estudos de Caso.....	73
3.4.1. Método Prescritivo: Procedimentos Simplificados	74
3.4.2. Método Prescritivo: Procedimentos Vigentes	74
3.5. Análise Comparativa: Procedimentos Vigentes e Simplificados	75
3.5.1. Variáveis, IC_{env} e Classificação Final.....	75
3.5.2. Tempo Aplicado para o Cálculo das Variáveis	76
4. ESTUDOS DE CASO.....	77
4.1. Edifício I: Escritórios.....	77
4.2. Edifício II: Educacional	78
4.3. Edifício III: Escritórios.....	80

4.4. Edifício IV: Escritórios	81
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	83
5.1. Identificação dos Procedimentos Vigentes e o Nível de Precisão dos Dados	83
5.2. Procedimentos Simplificados de Determinação das Variáveis	86
5.2.1. Transmitância Térmica de Paredes Externas (U_{par}).....	86
5.2.2. Transmitância Térmica de Coberturas (U_{cob})	90
5.2.3. Absortância à Radiação Solar (α).....	94
5.2.4. Áreas.....	98
5.2.5. Percentual de Abertura da Fachada (PAF).....	99
5.2.6. Fator Solar (FS)	100
5.2.7. Percentual de Abertura Zenital (PAZ).....	102
5.2.8. Ângulos de Sombreamento: AHS e AVS.....	103
5.3. Avaliação dos Estudos de Caso pelo Método Prescritivo: Procedimentos Simplificados e Procedimentos Vigentes	106
5.3.1. Avaliação do Edifício I	107
5.3.1.1. Pré-requisitos	108
5.3.1.2. Indicador de Consumo da Envoltória (IC_{env})	110
5.3.2. Avaliação do Edifício II	112
5.3.2.1. Pré-requisitos	113
5.3.2.2. Indicador de Consumo da Envoltória (IC_{env})	116
5.3.3. Tempo de Aplicação dos Procedimentos Simplificados e Vigentes – Edifícios I e II	119
5.3.4. Edifício III: PAZ, PAF, FS, Ângulos de Sombreamento (AVS e AHS) e IC_{env}	120
5.3.5. Edifício IV: PAF, FS e IC_{env}	123
6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	125
6.1. Considerações Iniciais	125
6.2. Considerações sobre os Resultados Alcançados.....	126
6.3. Limitações na Realização do Estudo.....	129
6.4. Sugestões para Trabalhos Futuros	130

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	131
ANEXO I – REVESTIMENTOS DE PAREDES E COBERTURAS (TINTAS).....	137
ANEXO II – DESCONTO DE ESQUADRIAS	138

1. INTRODUÇÃO

A preocupação mundial com a utilização dos recursos naturais está relacionada, principalmente, com o fato de estes serem primordiais para a produção de energia. O uso indiscriminado de recursos ao longo dos séculos, como o carvão e o petróleo, caracterizados como as principais fontes de energia mundial, desencadeou problemas ambientais graves, como a poluição do ar e o fenômeno conhecido como “Aquecimento Global”¹. Além disso, também foram notadas crises significativas devido à escassez desses recursos, como a crise do Petróleo, na década de 1970 (GELLER, 2003). Tais acontecimentos indicaram que a utilização da energia de maneira sustentável se mostrava primordial para o desenvolvimento mundial, já que, até o momento, não era atribuída a devida atenção ao consumo energético em áreas como transportes e edificações.

No cenário atual, contudo, os Estados e o mercado apresentam interesse no uso racional e estratégico da energia disponível, considerada limitada. A utilização de energia de maneira mais sustentável, principalmente pelo setor da construção civil, é indicada como uma medida primordial para a redução mundial do consumo de energia e de emissões de gases estufa (PESSOA; GHISI; LAMBERTS, 2013). Por esta razão, discussões acerca do uso racional de energia e sustentabilidade em edificações tem promovido o aumento da demanda por sistemas de avaliação de desempenho energético e certificação ambiental, tanto para as edificações quanto para sistemas e equipamentos que as compõem.

A maior parte desses sistemas de avaliação é baseada em legislação local, regulamentos e soluções construtivas convencionais, com parâmetros de avaliação predefinidos de acordo com a realidade ambiental, sociocultural e econômica do local e apresentam-se em constante desenvolvimento por instituições e governos. Por razão da singularidade local, diversos países passaram a desenvolver sistemas próprios de avaliação da sustentabilidade, os quais podem apresentar caráter voluntário ou compulsório (LUCAS, 2011).

No cenário brasileiro, por sua vez, a primeira lei de eficiência energética foi sancionada em 2001 (Lei n°.10.295), durante o racionamento de energia elétrica ocorrido naquele ano, a qual estabeleceu a Política Nacional de Conservação e Uso

¹ O aumento dos níveis de dióxido de carbono e outros gases do efeito estufa, resultado, principalmente, da queima de combustíveis fósseis acarretou no aumento da temperatura média terrestre em 0,6C° durante o século XX (IPCC, 2001 APUD GELLER, 2003). Tal fenômeno é considerado resultado das atividades humanas e é conhecido por Aquecimento Global.

Racional de Energia (BRASIL, 2001). Como consequência, foi lançada pelo INMETRO em 2009, como parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE-Edifica), a etiquetagem de edificações comerciais, de serviços e públicas, atualmente regulamentada pelo RTQ-C (Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos) (BRASIL, 2010a). Em 2010, por sua vez, foi lançada também a etiquetagem de edificações residenciais, regulamentada pelo RTQ-R (Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais) (BRASIL, 2010b).

A etiquetagem no Brasil ainda apresenta caráter voluntário para edificações comerciais, de serviços e residenciais, entretanto, a publicação da Instrução Normativa MPOG/SLTI nº.02 (BRASIL, 2014a) instituiu a obrigatoriedade da etiqueta de nível “A” para as edificações públicas federais, novas ou que recebam retrofit, a partir desta data.

Os critérios para a avaliação de edifícios, segundo o RTQ-C, englobam edifícios novos e existentes e envolvem três sistemas básicos: Envoltória, Sistema de Iluminação e Sistema de Condicionamento de Ar. Os edifícios podem receber a ENCE de projeto ou pelo edifício construído, e essa pode ser geral (quando avaliados os três sistemas) ou parcial (quando avaliados apenas Envoltória, Envoltória e Sistema de Iluminação ou Envoltória e Sistema de Condicionamento de Ar). Os métodos utilizados para a análise são: Prescritivo, baseado em tabelas e equações, e Simulação, baseado nos resultados de simulações computacionais (BRASIL, 2010c).

1.1. Justificativa e Relevância do Tema

No período compreendido entre o lançamento do RTQ-C, em 2009, e janeiro de 2016, 160 etiquetas foram emitidas para edifícios comerciais, de serviços e públicos em 42 cidades brasileiras, de 17 diferentes estados (INMETRO, 2016). Pode-se considerar o número de edificações etiquetadas baixo, quando comparado ao número de construções novas no país e ao extenso campo já edificado. Esta situação indica, portanto, que a etiquetagem do PBE - Edifica não tem sido absorvida de maneira significativa pelo mercado nacional.

As limitações relacionadas à inserção da etiquetagem no mercado brasileiro vêm sendo discutidas em eventos promovidos pela Eletrobras e em centros de pesquisa de destaque no país. Os principais entraves relacionados à penetração efetiva da

etiquetagem de edifícios comerciais, de serviços e públicos no cenário nacional estão relacionados principalmente, no caso do Método Prescritivo, à aplicação e entendimento dos procedimentos que compõem o método.

Alguns destes entraves identificados, com destaque àqueles relacionados ao texto e às recomendações do método, vêm sendo sanados com a publicação de Portarias Complementares ao RTQ-C (n.º 17, em 2012, n.º 299, em 2013 e n.º 126, em 2014), de notas técnicas e de versões revisadas do regulamento, como a referente aos Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética (RAC), lançado em 2013 (BRASIL, 2013a). Esta versão mais recente do RAC estabelece critérios para a inspeção das edificações atendidas por ambos os regulamentos (RTQ-C e RTQ-R) em um mesmo volume.

No caso da avaliação das edificações novas, a falta de especificações técnicas relativas aos produtos e sistemas, a necessidade de informações que apenas são obtidas durante a execução da obra, assim como o detalhamento exaustivo exigido de sistemas construtivos, são considerados por avaliadores e comunidade científica, entraves que aumentam o tempo e o custo do processo de etiquetagem.

O objeto de estudo da presente dissertação, por sua vez, é focado no processo de avaliação de edifícios existentes, onde os entraves citados anteriormente apresentam-se agravados. A avaliação destas edificações é geralmente mais longa e onerosa, já que, nem sempre é possível recuperar dados precisos sobre sistemas construtivos utilizados, assim como as características do desempenho energético de equipamentos.

A motivação pela escolha do tema é justificada pela necessidade do melhor entendimento e afirmação do processo de avaliação de edificações, segundo o RTQ-C, no mercado nacional. Para isso, simplificações aos processos vigentes, ao serem propostas e incorporadas, podem promover a redução do tempo e dos custos com a etiquetagem, aplicados no entendimento e na coleta de informações sobre as edificações. Tais reduções, por sua vez, podem ainda contribuir para promover a difusão da etiquetagem em larga escala no campo edificado nacional, já que, há a possibilidade de extensão da obrigatoriedade da obtenção da etiqueta. Essa obrigatoriedade já é realidade para as edificações públicas federais projetadas ou reformadas a partir de 2014, e pode ser estendida a todas as edificações do país, assim como acontece em países como Portugal.

Além disso, conhecer as características e o potencial energético das edificações

construídas no Brasil é de grande importância para que medidas que promovam a eficiência energética neste setor possam ser formuladas e aplicadas de maneira efetiva no campo edificado nacional.

Entre os três sistemas avaliados pelo RTQ-C (Envoltória, Sistema de Iluminação e Sistema de Condicionamento de Ar), o processo de análise da Envoltória se destaca como o de aplicação mais longa, quando comparado aos demais. Segundo Rodrigues *et al.* (2012), para avaliação de um edifício de baixa complexidade são necessárias 232 horas de trabalho de um avaliador, sendo 34,48% dessas horas aplicadas na análise da Envoltória, enquanto nos Sistemas de Iluminação e Condicionamento de Ar, são aplicados 24,14% e 13,79%, respectivamente. Portanto, considera-se que a simplificação dos procedimentos envolvidos na avaliação da Envoltória pode contribuir significativamente para a diminuição do tempo total de etiquetagem de edificações comerciais, de serviços e públicas.

Essa dissertação faz parte do Projeto de Pesquisa intitulado: “Desenvolvimento de Método Simplificado de Etiquetagem do Nível de Eficiência Energética para Edificações Existentes”, financiado pela FAPEMIG. Tal projeto apresentou-se como resposta a demanda do PBE Edifica à Rede de Eficiência Energética em Edificações (R3E) e promove uma parceria entre os laboratórios LATECAE, da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e o LABCON, da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

O método desenvolvido neste estudo apresenta caráter multidisciplinar, pois abrange as áreas da construção civil associadas ao estudo da eficiência energética, aliando, principalmente, as áreas de engenharia civil e arquitetura.

1.2. Objetivos

1.2.1. Geral

Propor procedimentos simplificados para a determinação numérica das variáveis relacionadas aos pré-requisitos da Envoltória e às equações do Indicador de Consumo da Envoltória (IC_{env}), para a avaliação do nível de eficiência energética de edifícios existentes, segundo o Método Prescritivo do RTQ-C.

1.2.2. Específicos

Como objetivos específicos, destacam-se:

- Analisar a aplicabilidade do Método Prescritivo para a avaliação da Envoltória de edificações, com foco em possíveis ações de simplificação;
- Identificar as variáveis da Envoltória e os procedimentos vigentes de determinação dessas variáveis;
- Propor procedimentos simplificados para a determinação das variáveis identificadas;
- Estabelecer os estudos de caso e as variáveis a serem testadas para cada um deles;
- Aplicar o Método Prescritivo para a avaliação da Envoltória dos estudos de caso, utilizando os procedimentos simplificados propostos;
- Aplicar o Método Prescritivo para a avaliação da Envoltória dos estudos de caso, utilizando os procedimentos vigentes identificados;
- Comparar os resultados encontrados na aplicação de ambos os procedimentos, para cada Zona Bioclimática (ZB)² (quando aplicável);
- Comparar o tempo de aplicação dos procedimentos simplificados e vigentes;
- Discutir a viabilidade da incorporação dos procedimentos simplificados na avaliação da Envoltória de edifícios existentes.

1.3. Estrutura do Trabalho

O presente estudo está estruturado em sete capítulos. Neste capítulo, Capítulo 01 – Introdução, o problema a ser investigado é colocado, o objeto de estudo é delimitado e justificada a relevância do tema escolhido. Indica-se ainda os objetivos: geral e específicos, os quais o estudo pretende alcançar.

No Capítulo 02 – Revisão Bibliográfica, os estudos bibliográficos desenvolvidos sobre o tema abordado são apresentados. O estado da arte em eficiência energética é analisado, a fim de introduzir o tema no contexto mundial e nacional. As certificações ambientais e a etiquetagem são abordadas, além de apresentado um estudo sobre a aplicação e abrangência do Sistema de Certificação Energética (SCE), de Portugal. O RTQ-C, com o foco no Método Prescritivo, é introduzido, além de traçado um perfil dos

² O Zoneamento Bioclimático brasileiro é estabelecido pela NBR 15220-3 – Desempenho Térmico de Edificações: Parte 3 (ABNT, 2005), e divide o território nacional em 08 Zonas Bioclimáticas (ZB), de acordo com as características similares do clima identificadas em cada cidade.

edifícios etiquetados até janeiro de 2016. As variáveis do Método Prescritivo são identificadas e, por fim, tal método é discutido sob a ótica das críticas e dúvidas apontadas por pesquisadores e projetistas, com o foco na Envoltória.

O Capítulo 03 – Metodologia apresenta as etapas metodológicas seguidas para o desenvolvimento do estudo. Este é baseado na proposição de procedimentos simplificados para a avaliação da Envoltória de edificações existentes, segundo o Método Prescritivo do RTQ-C, e na aplicação destes procedimentos a estudos de caso. A metodologia é dividida em 04 etapas principais: análise inicial: revisão de bibliografia; procedimentos para a determinação das variáveis da Envoltória; escolha dos estudos de caso; e análise comparativa: aplicação dos procedimentos simplificados e dos procedimentos vigentes.

No Capítulo 04 – Estudos de Caso, por sua vez, são descritas as características dos quatro edifícios selecionados para as avaliações da Envoltória, pelo Método Prescritivo. Tais avaliações subsidiaram uma análise comparativa entre a aplicação dos procedimentos simplificados propostos e dos procedimentos vigentes identificados.

O Capítulo 05 – Análise dos Resultados e Discussões contempla os resultados encontrados neste estudo e as discussões a partir desses. Como primeiro resultado, são identificados os procedimentos vigentes de determinação das variáveis da Envoltória, e, em seguida, procedimentos simplificados propostos foram descritos. São expostos os resultados da análise comparativa entre a aplicação dos procedimentos vigentes e dos procedimentos simplificados, quanto aos resultados alcançados para cada variável, ao atendimento aos limites estabelecidos para os pré-requisitos, ao IC_{env} e à classificação final. Ainda é analisado, em termos comparativos, o tempo de aplicação dos procedimentos simplificados em relação aos procedimentos vigentes.

O Capítulo 06 – Considerações Finais, por sua vez, trata das considerações acerca do estudo desenvolvido. A incorporação dos procedimentos simplificados propostos é ponderada, além de expostas possíveis mudanças aplicáveis ao texto e mudanças na avaliação de edificações existentes, pelo RTQ-C. Neste capítulo são indicadas ainda as limitações da pesquisa e as considerações para trabalhos futuros. O Capítulo 07 – Referências Bibliográficas, finalmente, indica os estudos citados nesta dissertação.

2. REVISÃO DE BIBLIOGRAFIA

2.1. Eficiência Energética em Edificações

O setor da construção civil é apontado como um dos grandes responsáveis pelo impacto ambiental provocado ao longo dos anos. Isto ocorre, pois os processos envolvidos na construção, na utilização dos edifícios e seus equipamentos, e na desconstrução, apresentam crescente consumo de energia e água. Este consumo está diretamente relacionado, quando analisado o período de operação das edificações, com a busca pelo conforto e qualidade de vida dos usuários (PESSOA; GHISI; LAMBERTS, 2013).

Geller (2003) alertava para o fato de que grande parte da população habita e faz uso de edificações ineficientes, ou seja, edificações que não provêm de maneira satisfatória, níveis de conforto térmico, luminoso e acústico, além de ventilação e qualidade do ar. Por essa razão, há o incentivo em muitos países, principalmente aqueles mais desenvolvidos, na adoção de medidas e na aplicação de novas tecnologias, além de maneiras eficientes de gestão e melhoria dos projetos de edifícios, a fim de reduzir o consumo de energia (GELLER, 2003).

A edificação energeticamente eficiente pode ser considerada aquela que proporciona condições de conforto ao usuário com o baixo consumo de energia, quando comparada a outra edificação similar (LAMBERTS; DUTRA, PEREIRA, 2014). Para isso, o aproveitamento dos sistemas naturais de iluminação e condicionamento de ar deve ser privilegiado em detrimento dos sistemas artificiais, e quando utilizados os últimos, deve-se buscar aqueles mais eficientes.

Os projetistas apresentam papel fundamental na busca por essas edificações, já que são os responsáveis pelo dimensionamento dos sistemas e pelo projeto em si. Esses sistemas, entre outras atribuições, devem funcionar de maneira a colaborar com a diminuição da carga térmica. Por esta razão, a adequação do projeto arquitetônico de edifícios ao clima local, segundo Cândido, Torres e Cabús (2005), apresenta elevado potencial de redução do consumo de energia, principalmente através da redução da utilização de condicionamento artificial de ar.

Segundo Kaderják *et al.* (2012) os incentivos a eficiência energética em edificações podem ser indicados de quatro maneiras diferentes. A primeira está relacionada aos preços dos equipamentos e processos eficientes, os quais devem ser competitivos para a absorção pelo mercado. Os seguintes incentivos apresentam relação com a

regulamentação dos materiais e produtos utilizados, regulamentação dos atores envolvidos nos processos e a regulamentação do desempenho energético das edificações.

O Quadro 01 indica alguns obstáculos identificados como inibidores à eficiência energética em edificações e ao uso de energia renovável. Entre eles, destacam-se: a indisponibilidade de equipamentos eficientes no mercado; a falta de informação e treinamento dos envolvidos com a construção e distribuição desses recursos; a legislação construtiva pouco restritiva ou mesmo inexistente em muitos países; entre outros. Para que os obstáculos citados sejam excluídos, por sua vez, é necessária a elaboração de políticas públicas, incentivos fiscais e financeiros para a adesão pelo mercado, investimento em pesquisa e desenvolvimento de produtos e equipamentos, e principalmente, criação de regulamentações (GELLER, 2003).

O consumo energético em edificações pode ser controlado se, inicialmente, houver a preocupação em modificar o panorama do campo edificado por meio das novas construções, principalmente em países em expansão, como o Brasil (PESSOA; GHISI; LAMBERTS, 2013). Todavia, em países onde as edificações existentes representam uma parcela significativa do campo edificado, quando comparadas às novas edificações, as intervenções nas primeiras se fazem necessárias. Tal fato é corrente, por exemplo, na maioria dos países-membro da União Europeia.

Entre os principais entraves às intervenções em edificações existentes, destacam-se: a falta de incentivos a partir do preço da energia, mantido baixo pelos governos; a falta de engajamento dos atores responsáveis pela tomada de decisão, os quais não são familiarizados com as questões energéticas; o alto preço inicial de produtos com melhor desempenho; e, a falta de investimentos financeiros a serem aplicados nessas reformas (PESSOA; GHISI; LAMBERTS, 2013).

Para atingir a meta de redução do consumo de energia em edificações, nesses casos, é necessário o investimento na aplicação de novas tecnologias, além do aumento na quantidade de edifícios reformados. Neste aspecto, pode-se destacar a importância de regulamentações que englobem as edificações existentes, a fim de estabelecer parâmetros a serem atingidos após as reformas. Essas regulamentações, por sua vez, apresentam-se como uma ferramenta de promoção de medidas relacionadas à eficiência energética, além de fornecer dados sobre o potencial de economia de energia do campo edificado de um país (PESSOA; GHISI; LAMBERTS, 2013).

Quadro 02 - Barreiras à eficiência energética e políticas para superá-las

Barreiras e políticas para superá-las
Infraestrutura limitada de fornecimento de tecnologias eficientes
<ul style="list-style-type: none"> Pesquisa, desenvolvimento e demonstração. Regulamentações Aquisição de equipamentos Obrigações de mercado Capacitação dos atores envolvidos
Problemas de qualidade dos produtos eficientes
<ul style="list-style-type: none"> Pesquisa, desenvolvimento e demonstração. Regulamentações Disseminação de informação e treinamento Capacitação dos atores envolvidos
Informação e treinamento insuficientes
<ul style="list-style-type: none"> Disseminação de informação e treinamento Capacitação dos atores envolvidos
Incentivos mal alocados
<ul style="list-style-type: none"> Incentivos financeiros Regulamentações Técnicas de planejamento
Falta de recursos e financiamento
<ul style="list-style-type: none"> Financiamento com taxas de juros atraentes Incentivos financeiros
Procedimentos de compras
<ul style="list-style-type: none"> Financiamento com taxas de juros atraentes Incentivos financeiros Disseminação de informação e treinamento Acordos voluntários Regulamentações Aquisição de equipamentos
Barreiras de preços e de impostos
<ul style="list-style-type: none"> Incentivos financeiros Preço, redução de impostos Regulamentações Barreiras de regulamentações e de concessionárias Reformas de mercado Obrigações de mercado Técnicas de planejamento para alcançar projetos eficientes
Obstáculos políticos
<ul style="list-style-type: none"> Regulamentações Obrigações de mercado e técnicas de planejamento para alcançar projetos eficientes

Fonte: Geller (2003), modificado pela autora.

2.2. Avaliações e Certificações Ambientais

As regulamentações indicam o desenvolvimento de padrões de eficiência mínimos a serem atingidos por equipamentos, sistemas e/ou edificações completas. Países que aderiram a tratados e protocolos ambientais apresentam tendência a desenvolverem sistemas de avaliação e certificação ambientais próprios. Estes sistemas podem apresentar caráter voluntário ou compulsório, e atendem a demandas locais. Consideram a legislação e soluções construtivas convencionais, com parâmetros de avaliação predefinidos de acordo com a realidade ambiental, sociocultural e econômica do país em que se relacionam (LUCAS, 2011).

Dois enfoques principais podem ser atribuídos aos sistemas de avaliação e certificação: o primeiro baseado em índices de desempenho mínimos, associado às políticas públicas, e, o segundo, baseado na classificação de níveis variados, atrelado aos programas de certificação. O principal objetivo desses sistemas é estabelecer parâmetros limite de eficiência ou instrumentos de competitividade, com a consequente regulação do mercado (CASALS, 2006).

No caso das edificações, por sua vez, a adoção dos níveis mínimos de eficiência apresenta-se como importante ponto de partida para o controle de edificações. Isso ocorre, pois são estabelecidos parâmetros iniciais de construção, no caso de edificações novas, e, em edificações existentes, parâmetros de intervenção, a fim de transformar o campo edificado (PESSOA; GHISI; LAMBERTS, 2013).

Entre os países que desenvolveram seus próprios métodos de análise de sustentabilidade e eficiência energética em edificações, destacam-se: o Reino Unido, com o BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*), sistema pioneiro no mundo; os Estados Unidos da América, com o LEED (*Leadership in Energy & Environmental Design*), sistema mundialmente conhecido e valorizado pelo mercado; Portugal, com o SCE (Sistema de Certificação Energética de Edifícios), o qual apresenta uma metodologia simplificada para edificações existentes; e o Brasil, com o PBE-Edifica, principal objeto de análise deste estudo.

O SCE (Sistema de Certificação Energética de Edifícios), de Portugal, destaca-se por possuir caráter obrigatório, fruto de uma política governamental, e, por esta razão, apresenta alto índice absorção pelo mercado local (ADENE, 2015). A emissão do Certificado Energético, neste país, é necessária para a comercialização de edificações novas e existentes. Como grande parte do campo edificado europeu é consolidada, em Portugal, houve a preocupação em estabelecer parâmetros de eficiência

energética que englobem também as edificações existentes, a partir da aplicação de uma metodologia simplificada. A iniciativa em Portugal será brevemente descrita a seguir, com o foco na aplicação da regulamentação em edificações existentes.

2.2.1. Sistema Nacional de Certificação de Edifícios: o SCE

Para que a União Europeia (UE) atenda ao compromisso firmado no âmbito do Protocolo de Quioto, ratificado em 1998 e em vigor desde 2005, medidas de eficiência energética passaram a ser adotadas. Uma destas medidas, relacionadas ao desempenho energético de edifícios, a Diretiva nº. 2002/91/CE, foi publicada em 2002 pelo Parlamento Europeu e pelo Conselho. Esta prevê que todos os Estados-Membros da União Europeia adotem um sistema de certificação energética de edifícios. Na Europa, por sua vez, o setor de edifícios é responsável por uma elevada parcela do consumo da energia final produzida, 40% (ADENE, 2015).

Em Portugal, por sua vez, o consumo de energia final destinado aos edifícios chega a 30%. O Sistema Nacional de Certificação Energética da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) foi instituído no país pelo Decreto-Lei nº 78/2006 e lançado em 2007, sendo que, a gestão do sistema é de responsabilidade da ADENE – Agência Nacional de Energia. A certificação tornou-se compulsória em 1º de janeiro de 2009, e, portanto, qualquer fração destinada à habitação ou serviços, para ser comercializada desde então, deve apresentar um Certificado Energético (CE) (ADENE, 2015).

Tal certificado dispõe, entre outros itens, da etiqueta energética, que indica a classificação do edifício quanto a sua eficiência energética: de A+ (mais eficiente) até G (menos eficiente). Essa classificação, por sua vez, é calculada a partir da comparação entre o desempenho energético do edifício nas condições atuais de uso, e o desempenho que este obteria ao atender as condições mínimas de uso (com base em valores de referência), exigidos aos edifícios novos (Figura 01) (ADENE, 2013).

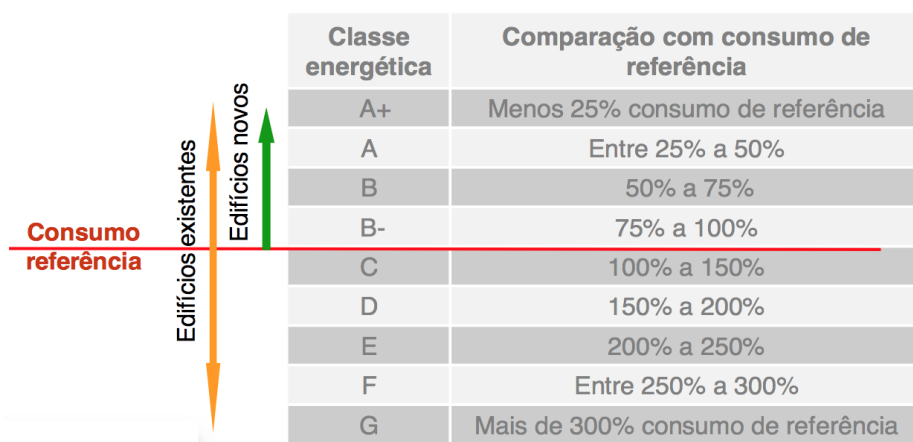


Figura 01 - Classes Energéticas do SCE. Fonte: ADENE, 2013.

Além da etiqueta energética, o Certificado Energético (CE) apresenta:

- Identificação do tipo de certificado e sua validade;
- Indicadores de desempenho: eficiência na utilização de energia, incluindo a contribuição das fontes renováveis;
- Emissões de CO₂;
- Consumo estimado por fonte de energia;
- Descrição dos componentes e consumo de referência, estimado por tipologia;
- Desempenho nas diferentes estações do ano;
- Local e dimensão de onde ocorrem as perdas e ganhos de calor da envoltória;
- Cinco principais medidas de melhoria que podem ser tomadas: custo do investimento, economia na fatura de energia elétrica e novo nível atingido pela aplicação da melhoria;
- Combinação entre as melhores medidas, economia total e novo nível de classificação caso as medidas sejam incorporadas à edificação;
- Informações sobre a importância dos sistemas técnicos e sua manutenção;
- Resumo dos principais indicadores: eficiência energética, consumo, energia exportada, entre outros;
- Descrição detalhada de cada elemento construtivo e equipamento, área, usos e localização de cada um deles;
- Nível de desempenho, referências e limites estabelecidos.

No contexto dos edifícios novos, a certificação constitui-se como um mecanismo de verificação do cumprimento dos requisitos térmicos a que esses edifícios estão sujeitos, e, a classe energética deve ser igual ou superior a “B-“. Em relação aos edifícios existentes, por sua vez, é indicada como elemento eficaz de promoção, bem como de identificação de quais medidas podem conduzir a uma melhoria no desempenho energético e conforto (ADENE, 2015).

A avaliação de todos os edifícios é realizada pelos Peritos Qualificados (PQ). Estes são divididos por regiões de atuação e passam por processos de treinamento e acreditação para desempenhar a função. Os peritos são responsáveis pela análise da documentação, assim como pelos levantamentos no edifício, pelas auditorias e pelos cálculos, com o objetivo de identificar as características de elementos construtivos e equipamentos (ADENE, 2015).

A certificação é dividida em três etapas: Projeto, Edifício Construído e

Verificação/Manutenção e, refere-se à aplicação de dois regulamentos distintos: Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE) e Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), instituídos pelo Decreto-Lei n.º 79 de 2006 (PORTUGAL, 2006a) e Decreto-Lei n.º 80 de 2006 (PORTUGAL, 2006b), respectivamente.

O RSECE aplica-se aos edifícios com sistemas de climatização de potência superior a 25 kW, residenciais e pequenos serviços, além dos edifícios de serviços com área útil superior a 1000 m². Este regulamento define um conjunto de requisitos associados à qualidade da envoltória e apresenta os limites para o consumo energético dos edifícios aos quais se aplica. Abrange também a eficiência e manutenção dos sistemas de climatização e qualidade do ar interior, avaliados por meio de auditorias periódicas, necessárias para grandes edifícios de serviços existentes (PORTUGAL, 2006a). A metodologia para a realização de tais auditorias é indicada pela Nota Técnica SCE-02 - Metodologia para Auditorias Periódicas de QAI em Edifícios de Serviços Existentes no Âmbito do RSECE, de outubro de 2009 (PORTUGAL, 2009a).

O RCCTE, por sua vez, aplica-se aos edifícios sem sistemas de climatização, residenciais e pequenos serviços. A Figura 02 indica os requisitos exigidos na avaliação: térmicos; energéticos; e, a instalação obrigatória de coletores solares. Os requisitos térmicos estão relacionados, principalmente, às características da envoltória, limitando as perdas térmicas e controlando os ganhos solares excessivos. Os requisitos energéticos, por sua vez, valorizam a utilização de fontes renováveis de energia e o uso de sistemas eficientes.

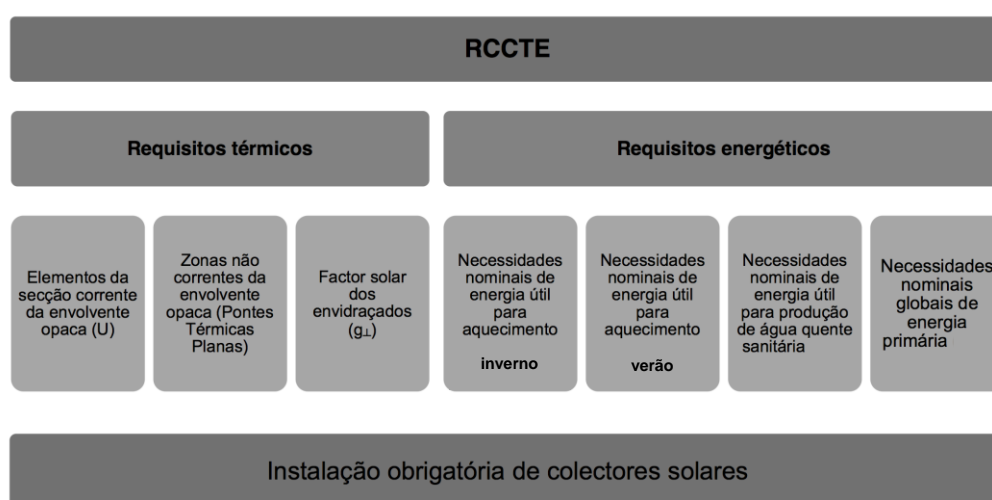


Figura 01 - Requisitos avaliados pelo RCCTE. Fonte: ADENE, 2013.

No âmbito da avaliação de edifícios existentes, o SCE considera que, muitas vezes, a

informação detalhada sobre as soluções construtivas empregadas não está disponível. Nesse caso, quando o edifício se enquadra no domínio de aplicação do RCCTE, é definida uma metodologia simplificada, estabelecida pela Nota Técnica SCE-01 - Método de Cálculo Simplificado para Certificação Energética de Edifícios Existentes no Âmbito do RCCTE, (PORTUGAL, 2009b). Tal metodologia é baseada no cálculo detalhado previsto para edifícios novos, porém, incorpora simplificações com o grau de erro reduzido, para a definição de determinados parâmetros.

A aplicação da metodologia simplificada é iniciada com o levantamento dimensional (com duração de aproximadamente 40 a 45 minutos), seguido da caracterização de elementos construtivos do edifício, por meio de levantamento visual/fotográfico, informação oral fornecida na inspeção do local e estudo dos projetos disponibilizados. Após a coleta dos dados disponíveis, os cálculos simplificados são realizados de acordo com aproximações conservadoras ou valores de referência estabelecidos pelo SCE.

Valores de referência, por sua vez, são encontrados em documentos que descrevem soluções construtivas recorrentes no país, como os elaborados, em 2009, pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) (ADENE, 2013). Neste sentido, o Quadro 02, por exemplo, mostra os dados publicados para o Coeficiente de Transmissão Térmica de paredes exteriores mais recorrentes à realidade construtiva de Portugal, de acordo com os elementos componentes e a espessura. Neste Quadro, as siglas referem-se a: PE1 – Paredes de pedra; PE2 – Paredes de tabique; PE3 – Paredes simples de alvenaria de tijolo ou bloco de betão; PE4 – Paredes duplas de alvenaria de tijolo ou bloco de betão; PE5 – Paredes simples de taipa ou adobe; PE6 – Paredes simples de alvenaria de betão celular autoclavado.

Quadro 02 – Coeficientes de Transmissão Térmica dos diferentes tipos de paredes exteriores.

	PE1	PE2	PE3	PE4	PE5	PE6
Espessura (m)	0,20 a 1,00	-	0,20 a 0,24	0,11 a 0,15	0,40 a 1,00	0,10 a 0,30
Coeficiente de transmissão térmica (W/(m².°C))	3,7 a 1,8	3,0	1,3 a 1,9	1,0 a 1,4	1,6 a 0,9	1,4 a 0,6

Fonte: Santos e Rodrigues (LNEC) (2009).

Os parâmetros presentes na metodologia simplificada são, entre outros: as pontes térmicas e as transmitâncias térmicas, para as quais não são estabelecidos requisitos mínimos a serem atingidos (por se tratar de edificações existentes); o Fator Solar (FS) dos vidros, adotado de acordo com valores tabelados; o sombreamento das aberturas, definidos em 03 escalas: sem sombreamento, sombreada e fortemente sombreada; e

a inércia térmica de materiais, definida como: forte, média e fraca. Além disso, recomendações para simplificações no cálculo das áreas também são adotadas, tais como: ignorar reentrâncias e saliências inferiores a 1 m; entre outras.

As simplificações podem ser, ou não, adotadas em conjunto, de acordo com a melhor informação disponível. A partir da análise simplificada, por sua vez, a classe energética do edifício existente é determinada, ações de melhoria são propostas, e é realizada a análise de impacto dessas melhorias na edificação (PORTUGAL, 2009b).

Como consequência à simplificação da metodologia, há a diminuição do tempo aplicado para a análise dos edifícios existentes, fato que facilita a absorção da certificação em larga escala. O tempo gasto para a certificação de um edifício depende, em boa parte, da experiência do perito responsável, da complexidade da edificação e seus sistemas, além da qualidade e quantidade das informações disponíveis. A ADENE (2013) indica que, para um edifício novo de habitação unifamiliar, por exemplo, o processo pode durar entre quatro a dezesseis horas de trabalho, na medida em que, se for um edifício existente, o período é de cerca de quatro horas de trabalho.

A certificação no país é de responsabilidade, primeiramente, dos proprietários dos imóveis. Os custos para a obtenção da certificação, por sua vez, são regulados pelo mercado e são variáveis, no caso dos edifícios comerciais e serviços, de acordo com a área (ADENE, 2013).

Segundo os dados da ADENE, até o ano de 2013, foram emitidos 650.000 certificados energéticos, fato que indica a grande absorção do sistema no país. Ainda de acordo com estes dados, 10% das edificações em Portugal apresentavam um CE, sendo que, as regiões de Lisboa, Porto e Faro apresentavam o universo de 60% de suas edificações existentes certificadas (ADENE, 2013).

O limite de eficiência estabelecido para os edifícios novos é a classe energética “B-“, e, como mostra o gráfico da Figura 03, todos os certificados emitidos em fase de projeto (DRCs) atenderam a este limite. Ainda de acordo com os gráficos da Figura 03, no caso dos edifícios existentes, por sua vez, apenas 36,7% deles atendem ao limite aplicado aos edifícios novos. Observa-se também que o maior número de certificados foi aplicado em edificações residenciais (92%).

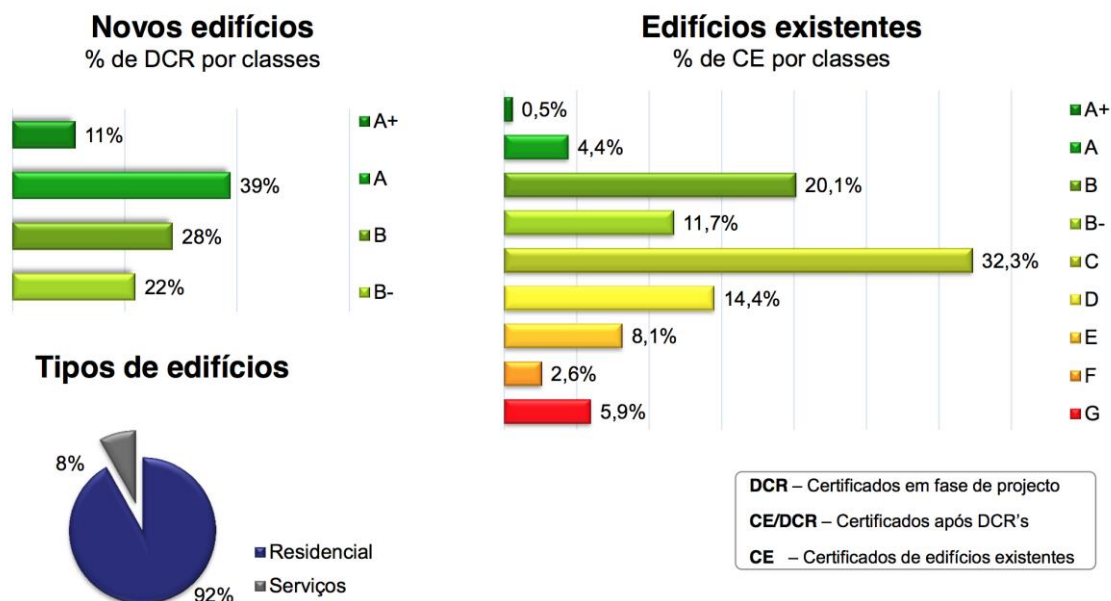


Figura 03 - Classe energética dos edifícios novos e existentes. Fonte: ADENE, 2013

A Figura 04, por sua vez, indica a predominância da classe energética “C” na avaliação das edificações existentes. Contudo, indica-se que, caso as medidas de intervenção propostas pelos peritos sejam aplicadas aos edifícios avaliados, 85% deles passaria a atender ao limite “B-“ estabelecido para edifícios novos (ADENE, 2013).

Um simulador de eficiência energética em edificações residenciais existentes, o CasA+, para consulta pela população, foi também desenvolvido. Este realiza, de maneira simplificada, a avaliação da eficiência energética e do impacto ecológico dos edifícios e indica ações para melhorar o desempenho energético dos sistemas e envolvente. A simulação considera parâmetros de entrada como: localização, tipo de habitação, materiais empregados (de acordo com a data da construção), equipamentos, entre outros (ADENE, 2015).

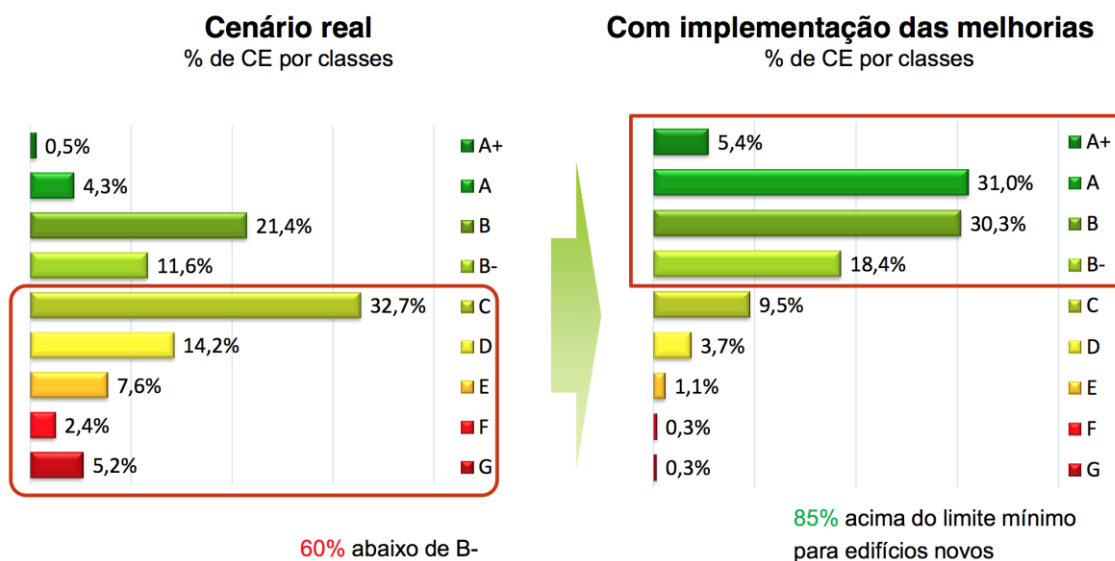


Figura 04 - Classes energéticas para edifícios existentes. Fonte: ADENE, 2013.

A certificação de edificações em Portugal é considerada um caso bem-sucedido pela Agência Internacional de Energia (IEA), de acordo com dados de 2010 (IEA, 2010). Segundo a Agência, fatores apontados como causas desse sucesso permeiam a comunicação massiva do programa à população e a obrigatoriedade da etiqueta. A abrangência do sistema contribui para a divulgação do tema eficiência energética em edificações, aproximando as políticas públicas aos agentes de mercado e a população. Além disso, a análise das informações obtidas a partir da certificação, por sua vez, configura-se como importante ferramenta para a caracterização energética do campo edificado em Portugal e para subsidiar propostas para ações em prol da eficiência.

Outras características positivas também podem ser identificadas, como: treinamento e acreditação dos profissionais envolvidos (Peritos Qualificados), renovação do campo edificado em busca da melhor classificação energética, principalmente em edifícios de serviços e públicos; estabelecimento de planos de manutenção dos edifícios (revisões periódicas); e municípios com papel de fiscalizadores (IEA, 2010).

Contudo, alguns pontos do sistema são alvos de críticas por parte dos pesquisadores e usuários, como o foco excessivo aos sistemas de aquecimento de água em detrimento de sistemas considerados mais importantes, como o de condicionamento de ar e envoltória (PESSOA; GHISI; LAMBERTS, 2013). Entretanto, segundo a ADENE (2015), há investimentos no melhoramento contínuo das recomendações indicadas para a melhoria dos edifícios, das ferramentas de pesquisa e do banco de

dados de equipamentos e sistemas.

2.3. Incentivos à Eficiência Energética em Edificações no Brasil

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) (EPE, 2016), ano base 2015, a matriz de geração elétrica brasileira é predominantemente de origem renovável. A oferta interna por energia elétrica é proveniente, em sua maioria (64,0%) da energia hidráulica. As edificações são responsáveis por, aproximadamente, 14% do total de energia consumida no Brasil, considerando todas as fontes de geração. Quando analisado o consumo total de energia elétrica, este percentual chega a 50,8%, o qual é dividido entre o setor residencial (25,1%), setor comercial (17,5%) e setor público (8,2%) (EPE, 2016) (Figura 05). O consumo relacionado ao setor público é atribuído a outras funções, assim como iluminação pública.

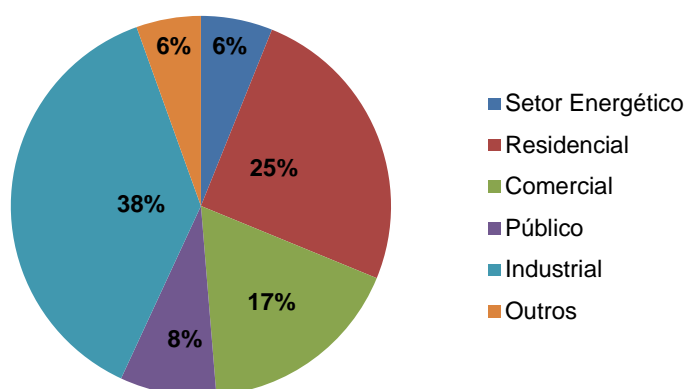


Figura 02 - Consumo de energia elétrica no Brasil por setor (ano base 2015). Fonte dos dados: EPE (2016).

Discussões acerca do desempenho energético de edifícios e a normalização de limites deste desempenho começaram a ser formuladas no Brasil em 1991, a partir de um encontro de pesquisadores da área (CARLO; LAMBERTS, 2010). Como resultado, foram lançadas, pela ABNT, normas de desempenho, das quais se podem destacar: NBR 15220 (ABNT, 2005) e a NBR 15575 (ABNT, 2013). Tais normas tratam do desempenho térmico de componentes das edificações, todavia, estas não indicam parâmetros diretamente referentes à eficiência energética, além de tratarem apenas das edificações residenciais.

Durante a crise de abastecimento de energia elétrica em 2001, por sua vez, foi sancionada a primeira Lei de Eficiência Energética, Lei nº.10.295, a qual estabeleceu a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia (BRASIL, 2001). O

Decreto n°.4.059, que regulamentou a Lei, criou o Grupo Técnico para Eficientização de Energia em Edificações, o qual deveria adotar procedimentos para avaliação da eficiência energética em edificações e criar indicadores técnicos referenciais do consumo de energia destas, para certificação de sua conformidade em relação à eficiência energética.

Como consequência à primeira lei brasileira de eficiência energética, foi lançada em 2009, a etiquetagem de edificações comerciais, de serviços e públicas, pelo INMETRO, e, em 2010, por sua vez, de edificações residenciais. A etiquetagem é regulamentada pelo RTQ-C e pelo RTQ-R, respectivamente. O PBE-Edifica apresenta caráter voluntário, porém, está entre as diretrizes do Plano Nacional de Eficiência Energética (MME, 2011) torná-lo compulsório, assim como já ocorre com as edificações públicas federais construídas a partir 2014.

Ainda segundo o Ministério de Minas e Energia (2011), através do Plano Nacional de Eficiência Energética, o potencial de redução do consumo de energia em edificações existentes no país é de 10%, caso ações de eficiência e energética sejam implementadas na Envoltória, Sistemas de Iluminação e Condicionamento de Ar, até 2030. Quando se trata de edificações novas, por sua vez, esse potencial cresce para 50%. Tal fato justifica o maior investimento nas ações voltadas às edificações novas, entretanto, como o país já apresenta um vasto campo edificado, ressalta-se que as ações em edificações existentes também devem ser alavancadas.

Um melhor desempenho energético de edificações não depende, em geral, da superação de barreiras relacionadas ao desenvolvimento de tecnologia, mas sim, as barreiras de mercado. Este fornece, em grande parte, produtos e processos eficientes pouco competitivos.

No panorama atual brasileiro, mecanismos que regulamentam a envoltória, os sistemas e os componentes de uma edificação, não são frequentes, como visto em outros países. Para a mudança deste panorama, é indicado, entre outras ações, que o país invista nos seguintes aspectos (PESSOA; GHISI; LAMBERTS, 2013):

- Obrigatoriedade do programa de etiquetagem: consumidores devem entender as características do imóvel que compram e exigir esta qualidade no mercado;
- Comunicação da etiqueta de conservação de energia para a população: quando o consumidor final estiver ciente das vantagens dos sistemas eficientes, fará uso dessa estratégia para economia de energia;

- Etiquetagem de componentes e sistemas: requisitos mínimos de desempenho energético de edificações. Para as edificações residenciais, requisitos mínimos de desempenho passaram a ser exigidos em 2013, sob a luz da NBR 15.575 – Edificações Habitacionais - Desempenho (ABNT, 2013);
- Quantificação dos ganhos e economia com as ações de promoção da eficiência: indicado para que o consumidor tenha real noção do custo/benefício gerado pela escolha de produtos e edificações eficientes;
- Criação de um banco de dados nacional para o acompanhamento da etiquetagem;
- Promoção, pelo Estado, de edificações eficientes no mercado, por meio da compra destas: em países como Portugal e China, os edifícios públicos devem passar pelo processo de etiquetagem. No Brasil, desde 2014, a etiquetagem de novos edifícios públicos federais é compulsória;
- Formação de profissionais capacitados para lidar com as etapas de projeto e com os sistemas eficientes: em Portugal, profissionais são acreditados em todo o país para lidar com a avaliação das edificações dentro do programa de etiquetagem;
- Incentivos claros ao mercado: custo de energia mantido artificialmente baixo no país não incentiva o mercado a desenvolver alternativas e tecnologias que contribuam para a diminuição no consumo de energia;
- Estímulo às parcerias público-privadas, principalmente, aproximar a comunidade acadêmica ao mercado;
- Facilidade no financiamento para o investimento em eficiência energética: tanto para o desenvolvimento de tecnologias e produção, quanto para o investimento em projeto de edificações mais eficientes.

A seguir, será apresentada a etiquetagem de edificações comerciais, de serviços e públicas, regulamentada pelo INMETRO, considerada uma importante ferramenta de estímulo à eficiência energética de edificações no país.

2.4. Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos: o RTQ-C

A etiquetagem de edificações comerciais, de serviços e públicas, lançada pelo INMETRO em 2009, era, nesta ocasião, regida pelo Regulamento Técnico da

Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) (BRASIL, 2009a) e pelo Regulamento de Avaliação da Conformidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RAC-C) (BRASIL, 2009b).

No ano de 2010, o RTQ-C foi reformulado e renomeado para Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (BRASIL, 2010a), o RAC-C também foi renomeado para Requisitos de Avaliação da Conformidade para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (BRASIL, 2010c). Neste mesmo ano, foram publicados os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) e seu respectivo RAC (BRASIL, 2010b).

Ambos os regulamentos (RTQ-C e RTQ-R) fazem parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e definem parâmetros para a análise e avaliação dos edifícios específicos, a fim de que estes recebam a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), de acordo com o nível de eficiência energética por eles atingido (nível A até E, sendo o primeiro mais eficiente e o último, menos eficiente). Os edifícios que se submetem ao processo de etiquetagem devem estar em conformidade com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Para a atualização e a complementação de dados da versão de 2010 do RTQ-C, foram publicadas duas Portarias Complementares: n.º 17 (BRASIL, 2012a) e n.º 299 (BRASIL, 2013b); além da Portaria Complementar n.º 126 (BRASIL, 2014b), a qual trata do anexo relacionado à avaliação de estádios. O RAC, por sua vez, foi revisado em 2013 e nomeado como Requisitos de Avaliação da Conformidade para Edificações (BRASIL, 2013a). Este regulamento passou a incorporar os regulamentos RTQ-C e RTQ-R em uma mesma versão.

O RAC trata dos procedimentos para a avaliação da conformidade de edificações e apresenta os procedimentos de inspeção a serem seguidos pelo OIA, além dos documentos necessários para a submissão e os modelos da ENCE.

Documentos auxiliares também foram publicados a partir de julho de 2011, entre eles Notas Técnicas e Manuais para a aplicação dos regulamentos, os quais serão descritos no item 2.7 deste Capítulo.

O processo de etiquetagem é dividido em duas etapas: inspeção de projeto, realizada pelo Método Prescritivo ou pelo Método de Simulação; e inspeção da edificação

construída, realizada a partir do levantamento de dados *in loco*. Os critérios para a avaliação de edifícios, segundo o RTQ-C, envolvem três sistemas básicos: Envoltória, Sistema de Iluminação e Sistema de Condicionamento de Ar. O RTQ-C atende aos edifícios condicionados, condicionados parcialmente e não condicionados.

Para a avaliação pelo Método Prescritivo são atribuídos pesos a cada um dos sistemas, e, estes são avaliados a partir da determinação numérica de variáveis das equações, além da comprovação do atendimento aos pré-requisitos gerais e específicos. O Método de Simulação, por sua vez, baseia-se na avaliação comparativa da eficiência energética de dois modelos de edifícios com características primárias comuns, a partir da simulação desses modelos (CARLO; LAMBERTS, 2010).

2.4.1. Avaliação Geral de Edificações pelo Método Prescritivo

Para a classificação geral da edificação, segundo o Método Prescritivo do RTQ-C, por sua vez, cada um dos sistemas deve ser avaliado separadamente e recebe um peso (Envoltória e Sistema de Iluminação, 30% cada, e Sistema de Condicionamento de Ar, 40%).

Após a avaliação de cada sistema, a pontuação final é obtida pela ponderação dos valores encontrados de acordo com o peso de cada um, através de uma equação geral. Esta pontuação está contida entre 0 e 5 e determina a classificação geral do edifício (Tabela 01).

Tabela 01 - Classificação Geral de edificações segundo a pontuação total

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: RTQ-C (2010a), modificada pela autora.

Deve-se comprovar, para a avaliação, o atendimento aos pré-requisitos gerais, relacionados aos circuitos elétricos separados por uso final e ao aquecimento de água, de acordo com o nível de eficiência pretendido. Além disso, é necessário atender aos pré-requisitos específicos, referentes a cada sistema e categorizados de acordo com a ZB em que a edificação está inserida.

Somada à pontuação estabelecida na classificação geral, de 05 pontos, o edifício

ainda pode receber um ponto se apresentar iniciativas que, comprovadamente, aumentem a eficiência energética da edificação, as chamadas bonificações. Estas podem ser: sistemas e equipamentos que racionalizem o uso da água; utilização de sistemas ou fontes renováveis de energia; e sistemas de cogeração e inovações tecnológicas, que proporcionem economia mínima de 30% no consumo anual de energia elétrica. A economia de energia comprovada em mais de um item pode ser combinada, entretanto, o valor da pontuação não ultrapassa 01 ponto.

Os cálculos devem ser realizados pelo solicitante da etiqueta e as informações prestabelecidas no RAC (BRASIL, 2013a) devem ser enviadas ao Organismo de Inspeção Acreditado (OIA), o qual é o responsável pela conferência dos dados e emissão da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE).

A ENCE indica o desempenho geral da edificação, ou de sistemas separadamente, e, pode ser emitida para o projeto ou edifício construído. Esta pode ser geral (quando avaliados os três sistemas) ou parcial (quando avaliados apenas envoltória, envoltória e sistema de iluminação ou envoltória e sistema de condicionamento de ar). A Etiqueta indica o nível de eficiência energética atingido pela edificação, os pré-requisitos gerais e bonificações atendidas, além do nível de classificação de cada sistema separadamente. A Figura 06 é representativa do modelo de ENCE geral.



Figura 06 - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). Fonte: INMETRO, 2016.

2.4.2. Perfil dos Edifícios Etiquetados

A partir da análise das etiquetas emitidas desde o lançamento do RTQ-C, até 27 de janeiro de 2016, disponíveis na Tabela de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos (INMETRO, 2016), foi possível traçar um perfil dos edifícios etiquetados. A Tabela 02 indica o número de etiquetas emitidas para cada tipo avaliação, segundo os dados do INMETRO.

Durante o período estabelecido, 160 etiquetas foram emitidas, sendo que 100 etiquetas (62,5%) de Inspeção de Projeto e 60 etiquetas (37,5%), de Inspeção da Edificação Construída. Foi avaliado um total de 102 edificações. Esta diferença entre o número de avaliações e o número de edifícios avaliados deve-se ao fato de um mesmo edifício ter recebido as etiquetas de ambas as inspeções e, em alguns casos, ter sido avaliado mais de uma vez (avaliação parcial da Envoltória e geral para as áreas comuns) (Tabela 02).

Tabela 02 - Dados Gerais das ENCEs emitidas até Jan/2016

Avaliação de edificações comerciais, de serviços e públicas	
Número de etiquetas	160
Edifícios avaliados	102
ENCE Inspeção de Projeto	100
ENCE de Inspeção da Edificação Construída	60
ENCE de Projeto - Método Prescritivo	
Método Prescritivo	75
Método de Simulação	18
Método Prescritivo e Simulação	02
ENCE pendente	05
ENCE de PROJETO total	48
ENCE Parcial – Envoltória	17
ENCE Parcial - Envoltória e Sistemas de Iluminação	10
ENCE Parcial - Envoltória e Condicionamento de Ar	0
ENCE de Edificação Construída	
ENCE de ED. CONSTRUÍDA total	39
ENCE Parcial – Envoltória	15
ENCE Parcial - Envoltória e Sistemas de Iluminação	06
ENCE Parcial - Envoltória e Condicionamento de Ar	0

Fonte dos dados: Inmetro, janeiro de 2016. Elaborado pela autora.

Em relação às ENCEs de Projeto, 75 etiquetas (75,0%) foram emitidas por meio da avaliação pelo Método Prescritivo do RTQ-C, 18 etiquetas (18,0%) pelo Método de Simulação, 02 etiquetas (2%), pela combinação dos dois métodos e 05 (5,0%) etiquetas foram classificadas como pendentes. Das ENCEs emitidas pelo Método

Prescritivo, 48 (64,0%) correspondem à edificação total e 27 (36,0%) são parciais, as últimas divididas entre ENCE Parcial Envoltória (17 etiquetas - 63,0%) e ENCE Parcial Envoltória e Sistema de Iluminação (10 etiquetas - 37,0%) (Tabela 02).

Em relação às ENCEs de Edificação Construída, foram avaliadas 46 edificações existentes e emitidas 60 etiquetas. Em relação a estas edificações, 39 etiquetas emitidas (65,0%) correspondem à edificação total e 21 (35,0%) são parciais, as últimas divididas entre ENCE Parcial Envoltória (15 etiquetas – 71,4%) e ENCE Parcial Envoltória e Sistema de Iluminação (06 etiquetas – 28,6%) (Tabela 02).

Percebe-se que há a predominância de etiquetas emitidas a partir da avaliação pelo Método Prescritivo, em detrimento do Método de Simulação, no caso das ENCEs de Projeto. Tal fato pode ser explicado pela maior facilidade da aplicação do Método Prescritivo, o qual não exige o conhecimento prévio no uso de softwares de simulação computacional.

Em relação às etiquetas parciais, por sua vez, há a predominância por aquelas emitidas a partir da análise da Envoltória, enquanto o número de etiquetas que englobam o Sistema de Iluminação e Envoltória seja menor, e, que englobem os Sistemas de Condicionamento de Ar e Envoltória seja nulo.

Tendo em vista o campo edificado brasileiro e o crescimento do setor da construção civil na última década, pode-se considerar baixo o número de etiquetas emitidas durante o período em análise, principalmente no caso das edificações construídas. Os dados analisados sobre as etiquetas emitidas, portanto, reforça a constatação de que a etiquetagem de edificações apresenta uma absorção baixa e lenta pelo mercado nacional.

2.5. Envoltória de Edifícios

Todos os elementos de uma edificação, que separam o ambiente interno do externo, são considerados parte da Envoltória, entre os quais, os mais comuns são as paredes externas, aberturas (janelas, portas e zenitais) e cobertura. Por apresentarem contato com os dois diferentes ambientes, esses elementos são os responsáveis pelas trocas térmicas entre eles, as quais podem ocorrer por radiação, condução e convecção. Essas trocas podem ser promovidas ou dificultadas por meio dos materiais e sistemas utilizados na composição destas superfícies (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

As principais características da Envoltória de uma edificação, capazes de influenciar os ganhos de calor, são: as cores das superfícies externas; a exposição das superfícies em relação ao ambiente externo, como ausência de sombreamento; e, as propriedades térmicas dos materiais componentes (CARLO, 2008).

Quanto às propriedades térmicas, por sua vez, valores mínimos são estabelecidos em normas e regulamentos de desempenho energético, e esses são variáveis de acordo com a localização do edifício e o tipo de condicionamento térmico: natural ou artificial. Como exemplo, a ASHRAE 90.1 (2010), norma desenvolvida nos Estados Unidos da América, estabelece valores utilizados como referência para diversos processos de certificação ambiental no mundo (PESSOA; GHISI; LAMBERTS, 2013).

A incorporação de elementos construtivos que contribuam para a melhora do desempenho térmico, de acordo com as necessidades da região em que são aplicadas, é mais complexa em edifícios existentes, já que demanda, em muitos casos, ações de intervenção, como reformas. Por esta razão, é importante a preocupação com a realidade local desde as etapas de projeto, para que as novas edificações já incorporem os parâmetros construtivos adequados (PESSOA; GHISI; LAMBERTS, 2013).

O RTQ-C, todavia, estabelece limites máximos para propriedades como a absorvância à radiação solar e transmitância térmica, de acordo com a ZB na qual a edificação se insere. Outras propriedades relacionadas ao desempenho térmico, por sua vez, são incorporadas na análise do Indicador de Consumo da Envoltória (IC_{env}), por meio das equações.

Como citado anteriormente, a Envoltória apresenta o peso de 30% na classificação geral das edificações regulamentadas pelo RTQ-C, influência igual a do Sistema de Iluminação e menor que a do Sistema de Condicionamento de Ar, de 40%. Todavia, a análise e avaliação da Envoltória é um requisito essencial para a classificação de uma edificação, uma vez que é imprescindível para a obtenção de qualquer etiqueta, seja geral ou parcial. Além disso, o desempenho da Envoltória interfere diretamente no dimensionamento e desempenho dos sistemas de condicionamento de ar, ou seja, apresenta efeito no seu consumo.

Nos itens seguintes, o processo de avaliação da Envoltória pelo Método Prescritivo do RTQ-C é explicitado, e, por sua vez, os pré-requisitos e as variáveis presentes nas equações para a determinação do IC_{env} , são descritas. Os conceitos e definições atribuídos aos pré-requisitos e variáveis considerados neste estudo são aqueles

utilizados pelo RTQ-C.

2.5.1. Pré-requisitos para a Avaliação da Envoltória pelo Método Prescritivo

Para a classificação do nível de eficiência da Envoltória, é necessário primeiramente, que os pré-requisitos específicos sejam atendidos, de acordo com o nível de eficiência pretendido. Estes são: Transmitância Térmica de paredes externas e coberturas (U); Absortância à Radiação Solar das paredes externas e coberturas (α), além do Percentual de Abertura Zenital (PAZ), e, se referem aos fechamentos opacos e suas propriedades, além das aberturas zenitais (BRASIL, 2010a).

Os limites estabelecidos para cada pré-requisito estão relacionados ao nível de eficiência pretendido, como indica o Quadro 03, e, a ZB na qual a edificação está inserida.

Quadro 03 – Pré-requisitos a serem atendidos por nível de eficiência

Nível de Eficiência	Transmitância Térmica (U)	Absortância (α)	Percentual de Abertura da Fachada (PAZ)
A	X	X	X
B	X	X	X
C e D	X		

Fonte dos dados: RTQ-C (BRASIL, 2010a). Modificado pela autora.

2.5.1.1. Transmitância Térmica (U)

Para a avaliação do desempenho térmico dos fechamentos opacos de uma edificação, algumas propriedades devem ser estabelecidas e analisadas. Entre elas, pode-se destacar a Capacidade Térmica (C_T), a Resistência Térmica (R_t) e a Transmitância Térmica (U). A capacidade térmica é a indicação da quantidade de energia necessária para variar em uma unidade a temperatura de um ambiente, e, é expressa em $\text{kJ/m}^2\text{K}$. A resistência térmica trata da capacidade do material em resistir ao fluxo de calor, e, é determinada pelo quociente entre a espessura do material e a condutibilidade térmica deste (ABNT, 2005).

A transmitância térmica, por sua vez, é medida pelo inverso da resistência térmica. Define a capacidade dos componentes da Envoltória em transmitir o fluxo de calor em unidade de tempo através de uma área unitária, e, é representada pela unidade $\text{W/m}^2\text{K}$. Para determinar o valor da transmitância térmica, primeiramente, é necessário verificar todas as seções da Envoltória e identificar aquelas não homogêneas. Em seguida, deve-se estabelecer a resistência térmica e a espessura de cada elemento e,

a partir destes dados, calcular a transmitância térmica das composições identificadas, de acordo com os métodos de cálculo indicados pela NBR 15220-2 (ABNT, 2005).

Em edificações existentes, a determinação da transmitância térmica dos elementos da Envoltória (paredes externas e coberturas) pode ser dificultada, quando comparada às edificações novas. O tipo e a espessura dos materiais utilizados na composição podem não ser conhecidos, devido a ausência de memoriais descritivos ou especificações de projeto. Além disso, estes dados, quando especificados em projeto, podem diferir da realidade da construção. Tais discordâncias podem interferir na confiabilidade dos cálculos de Transmitância Térmica em relação ao comportamento real do edifício.

Mesmo importante para definir o comportamento térmico das edificações, a Transmitância Térmica não foi incorporada à equação do RTQ-C, e sim, tratada como um pré-requisito. Isso ocorre, pois, Carlo (2008), identificou, a partir das simulações de desempenho em edificações com diferentes transmitâncias térmicas, uma relação não-linear com o consumo energético das edificações, a qual não é possível descrever em uma equação de regressão linear.

Para a avaliação da Transmitância Térmica, pelo Método Prescritivo, caso a Envoltória seja composta por diferentes composições de materiais, o resultado final representa a ponderação da transmitância de cada composição em relação à área que ela ocupa. Por sua vez, valores máximos de transmitância térmica média são indicados, de acordo com o nível de eficiência pretendido, e, de acordo com a ZB em que a edificação está inserida. A Tabela 03 demonstra estes limites para a avaliação de paredes externas e, a Tabela 04, para coberturas.

Tabela 03 - Síntese dos limites para Transmitância Térmica de Paredes Externas

Zonas Bioclimáticas	$U_{PAR A}$ (W/m ² K)	$U_{PAR B}$ (W/m ² K)	$U_{PAR C e D}$ (W/m ² K)
ZB 1 e 2	1,0	2,0	3,7
ZB 3 a 6	3,7		
ZB 7 e 8	2,5W/m ² K, para $C_T < 80$ kJ/m ² K		
	3,7 W/m ² K, para $C_T > 80$ kJ/m ² K		

Fonte: Manual de Aplicação do RTQ-C (BRASIL, 2016a).

Tabela 04 - Síntese dos limites para Transmitância Térmica de Coberturas

Zonas Bioclimáticas	U _{COB A} (W/m ² K)		U _{COB B} (W/m ² K)		U _{COB C e D} (W/m ² K)	
	Ambientes Condicionados	Ambientes não condicionados	Ambientes Condicionados	Ambientes não condicionados	Ambientes Condicionados	Ambientes não condicionados
ZB 1 e 2	0,5	1,0	1,0	1,5	2,0	
ZB 3 a 8	1,0	2,0	1,5	2,0		

Fonte: Manual de Aplicação do RTQ-C (BRASIL, 2016a).

A não conformidade tolerada entre os dados enviados ao OIA pelo solicitante da etiqueta e os resultados encontrados pelo Organismo de Inspeção, no caso da transmitância térmica (U) e da capacidade térmica (C_T) é de 10%, quando considerada a etapa de Simulação. O RAC não especifica tal tolerância para as etapas de Projeto (relacionada ao Método Prescritivo) e inspeção da Edificação Construída (relacionada à avaliação de edificações existentes).

2.5.1.2. Absortância à Radiação Solar (α)

A absortância à radiação solar (α) é definida como o quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície. A refletância solar, por sua vez, é o quociente da taxa de radiação solar refletida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície (ABNT, 2005). Quando analisados os materiais opacos, sobre o total da energia radiante que incide sobre as superfícies, uma parcela é refletida e outra absorvida, enquanto a transmitância é nula. Por esta razão, a soma entre a absortância e a refletância é igual a 1.

Dornelles (2008) salienta que a absortância, por sua vez, não é influenciada apenas pela cor que a superfície externa do material apresenta. As cores são sensações visuais e podem variar entre os diferentes observadores e a quantidade de luz disponível. Por esta razão, não é indicada como única fonte para a determinação de propriedades físicas de uma superfície. Outras características podem influenciar na absortância, tais como: absorvidade do material componente da camada superficial, rugosidade, ondulação e manutenção da superfície.

A absorvidade do material, considerado o principal fator determinante da absortância, representa a quantidade de energia radiante absorvida do total que incide sobre um determinado material ou substância, e depende de sua composição química (ASHRAE, 2001). Já a rugosidade e a ondulação das superfícies, segundo Dornelles e Roriz (2007), podem provocar, em determinadas geometrias, inter-reflexões, e o consequente incremento da absortância.

O fator manutenção, por sua vez, considera o efeito do tempo nos materiais e, por isso, está intimamente relacionado aos edifícios existentes. Com o envelhecimento das superfícies, as refletâncias são afetadas por acúmulo de sujeira e poluição urbana, além da radiação ultravioleta. Dornelles (2008) observou que a tendência, com o envelhecimento, é a redução de altas refletâncias e elevação de baixas absorvâncias, já que os detritos que se acumulam, geralmente apresentam refletâncias médias. A maior redução, cerca de 20%, ocorre no primeiro ano de uso.

A manutenção periódica de superfícies, neste caso, pode restabelecer entre 90% e 100% da refletância original. Para estimar o efeito do tempo, sugere-se a Equação 01 desenvolvida por Levinson *et al.* (2002), na qual a alteração da refletância é igual a 30% da diferença entre a refletância original e o valor de 0,2 (DORNELLES, 2008).

Equação 01 – Refletância envelhecida de uma superfície

$$R_e = 0,20 + 0,70.(R_n - 0,20)$$

Onde:

R_e = refletância envelhecida;

R_n = refletância quando nova.

No caso das tintas, por sua vez, outros fatores são capazes de influenciar a absorvância à radiação solar, como o tipo de acabamento: fosco ou brilho. Dornelles (2008) indicou que as absorvâncias totais de tintas acrílicas de mesma cor, produzidas pelo mesmo fabricante, porém com acabamento fosco e semi-brilho, apresentaram diferenças consideráveis. A autora concluiu que, a maior parte das amostras com acabamento semi-brilho, analisadas em seu estudo, apresentaram absorvâncias totais superiores às de acabamento fosco.

Para estabelecer os valores de refletância das superfícies, e conseqüente valor de absorvância, o procedimento que apresenta maior precisão é a análise por espectrofotômetro, já que, por este procedimento, é possível estabelecer os dados de refletância ao longo de todo o espectro solar (DORNELLES, 2008). É necessário, neste caso, o envio de amostras das superfícies para laboratórios especializados, a fim de que as medições sejam feitas e analisadas. A partir das medições de amostras de referência, por sua vez, são publicadas tabelas com valores médios de refletância e absorvância de tintas e materiais.

Como alternativa às medições por espectrofotômetro, o espectrômetro ALTA II pode

ser utilizado. O ALTA II apresenta menor custo de aquisição e uso simplificado, quando comparado ao espectrofotômetro, além de resultados mais confiáveis do que a simples conferência em tabelas publicadas. Outra vantagem apontada é o fato do ALTA II ser portátil, o que permite as medições *in loco*. Este aparelho mede refletâncias correspondentes a radiações em 11 comprimentos de onda, entre 470 e 940 nm, sendo sete na região visível e quatro na região do infravermelho (DORNELLES, 2008).

O Guia de Medição e Cálculo para Refletância e Absortância Solar em Superfícies Opacas, publicado pelo Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E), em 2015, estabelece recomendações para a realização de medições com o espectrômetro ALTA II e para o tratamento dos dados obtidos a partir destas.

Para o cálculo da absortância, caso a Envoltória seja composta por superfícies diferentes, o resultado final representa a ponderação da absortância de cada superfície em relação à área que ela ocupa. O valor limite de absortância para paredes externas e coberturas, para as ZBs 02 a 08, é de 0,5. Percebe-se que, para paredes externas, quando o valor limite é extrapolado, a classificação máxima é “B”. Para as coberturas, por sua vez, a classificação máxima é “C”.

Por sua vez, a não conformidade tolerada entre os dados enviados ao OIA pelo solicitante da etiqueta e os resultados encontrados pelo Organismo de Inspeção, no caso da absortância à radiação solar é de 5%, quando considerada a etapa de Simulação. O RAC não especifica tal tolerância para a etapa de Projeto, porém, para a etapa de inspeção da Edificação Construída, para a qual é indicada a medição *in loco* utilizando um espectrofotômetro, a tolerância está estabelecida em 15%.

2.5.1.3. Percentual de Abertura Zenital

A iluminação zenital é uma prática adotada para permitir que a iluminação natural penetre nos ambientes internos, fato que favorece a redução do consumo de energia com iluminação artificial. Este recurso é indicado, principalmente, para ambientes com grande profundidade e para os que apresentam as aberturas verticais bloqueadas pelo entorno. Estas superfícies, no entanto, estão expostas à alta incidência de radiação solar direta, caso não sejam adotadas medidas de controle solar ou sombreamento. Tal fato pode influenciar no aumento da carga térmica por radiação solar, e, no possível aumento do consumo de energia como o condicionamento de ar.

O RTQ-C considera, como aberturas para iluminação zenital, aquelas localizadas em

superfícies externas que apresentam inclinação inferior a 60° em relação ao plano horizontal. Para o controle da carga interna proveniente dessas aberturas, indica-se que esta seja sombreada, ou que, quanto maior a área da abertura, menor seja o FS dos vidros utilizados (BRASIL, 2016a).

O Percentual de Abertura Zenital (PAZ), pré-requisito do Método Prescritivo, relaciona-se com a área da abertura, em função da área da superfície em que se encontra e apresenta o limite máximo de 5%. O regulamento, por sua vez, estabelece um valor máximo para o FS dos vidros, de acordo com a PAZ (Quadro 04).

Quadro 04 – Limites para o FS e em relação ao PAZ para coberturas

PAZ máx	FS máx	Nível de Eficiência
0 a 2%	0,87	A
2,1 a 3%	0,67	
3,1 a 4%	0,52	
4,1 a 5%	0,30	

Fonte dos dados: RTQ-C (2010a). Modificado pela autora.

O RAC, por sua vez, não indica os limites específicos caso haja diferença entre os dados enviados ao OIA pelo solicitante da etiqueta e os resultados encontrados pelo Organismo de Inspeção, no caso do PAZ. Contudo, nas etapas de Projeto e inspeção da Edificação Construída, o limite estabelecido para o cálculo das áreas envidraçadas é de 5%, enquanto o limite relacionado às propriedades ópticas de vidros é de 5%, na etapa de Simulação.

2.5.2. Indicador de Consumo da Envoltória (IC_{env}) para a Avaliação pelo Método Prescritivo

Após a análise e a avaliação dos pré-requisitos, deve-se calcular o Indicador de Consumo da Envoltória (IC_{env}), por meio de equações, referentes às aberturas verticais e a volumetria. Tais equações foram geradas a partir de simulações do desempenho termoenergético de protótipos de edifícios. Estes foram elaborados a partir de levantamentos fotográficos realizados em 05 capitais brasileiras, nos quais foram identificadas 07 atividades comerciais e também coletados os dados: dimensões; número de pavimentos; área de vidro; tipo de vidro; e, existência e dimensão das proteções solares.

Foram elaboradas 10 tipologias a partir dos dados dos levantamentos, as quais permitiram, a partir das simulações, extrair os dados de consumo, os quais subsidiaram a determinação das equações derivadas de regressão linear (CARLO;

LAMBERTS, 2010). Não foi possível abarcar nas tipologias elaboradas, por sua vez, todas as variações de volumetria encontradas no campo edificado. A fim de minimizar esta limitação, foram estabelecidas duas equações por ZB, de acordo com a A_{pe} ³ do edifício (maior que 500 m² ou menor igual a 500 m²) (MELO *et al.*, 2011).

A Equação 02 (BRASIL, 2010a), por exemplo, refere-se à análise de uma edificação com $A_{pe} > 500$ m², inserida na ZB 02 ou 03.

Equação 02 – IC_{env} para $A_{pe} > 500$ m², para a ZB 02 ou 03.

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

Onde:

- IC_{env} : Indicador de Consumo da Envoltória (adimensional);
- FA: Fator Altura, (A_{pcob} / A_{tot});
- FF: Fator de Forma, (A_{env} / V_{tot});
- A_{pcob} : Área de projeção da cobertura (m²);
- A_{tot} : Área total construída (m²);
- A_{env} : Área da envoltória (m²);
- V_{tot} : Volume total da edificação (m³);
- PAF_T : Percentual de Abertura na Fachada total (adimensional, para uso na equação);
- PAF_O ⁴: Percentual de Abertura na Fachada Oeste (adimensional, para uso na equação);
- FS: Fator Solar;
- AVS: Ângulo Vertical de Sombreamento;
- AHS: Ângulo Horizontal de Sombreamento.

A Equação 02, assim como as outras equações da Envoltória, por sua vez, consideram as variáveis citadas acima, as quais devem ser calculadas e/ou definidas previamente, de acordo com procedimentos de cálculo aceitos pelo regulamento.

³ Segundo o RTQ-C (BRASIL, 2010), a Área de Projeção (A_{pe}) é a área de projeção média dos pavimentos, excluindo subsolos.

⁴ O PAF_O , referente ao percentual de abertura na fachada Oeste. Caso o PAF_O seja maior que ($PAF_T + 0,20 \times PAF_T$), deve-se adotar PAF_O nas equações da Envoltória em todos os campos onde se lê PAF_T (BRASIL, 2010a).

Para a classificação da Envoltória, finalmente, é estabelecida uma avaliação comparativa, a partir do IC_{env} calculado e dos limites máximo e mínimo calculados por meio das mesmas equações, porém, utilizando dados de entrada indicados pelo RTQ-C:

- IC_{min} : Indicador de Consumo mínimo: relaciona características de uma Envoltória eficiente, as quais foram elaboradas a partir de um levantamento de campo (CARLO, 2008);
- IC_{maxD} : Indicador de Consumo máximo do nível de eficiência D: relaciona características típicas da Envoltória de edifícios comerciais, de serviços e públicos, identificadas a partir de um levantamento de campo realizado (CARLO, 2008).

Esse procedimento de determinação dos limites deve ser realizado para cada nível de eficiência e, a partir da comparação entre o IC_{env} , o IC_{min} e o IC_{maxD} é possível determinar o nível de eficiência alcançado (BRASIL, 2010a).

As variáveis identificadas e os limites estabelecidos para cada uma delas, de acordo com o RTQ-C e o RAC, serão brevemente descritos a seguir, além dos procedimentos indicados pelos regulamentos para a determinação destas variáveis.

2.5.2.1. Áreas: Fator Altura (FA) e Fator de Forma (FF)

O Fator Altura (FA) é um índice que expressa a proporção da altura do edifício em relação ao número de pavimentos. Numericamente, esta variável é representada pela razão entre a Área da Projeção da Cobertura (A_{pcob}) e a Área Total Construída (A_{tot}), ambas dadas em m^2 . A A_{pcob} refere-se a projeção horizontal da cobertura, incluindo terraços cobertos e descobertos e excluindo beirais, marquises e coberturas sobre varandas, as últimas, desde que fora do alinhamento do edifício. A A_{tot} é expressa pela soma das áreas de piso dos ambientes fechados do edifício, medidas externamente (BRASIL, 2010a). Percebe-se a redução gradual do FA a medida em que a área de edifício aumenta.

O Fator de Forma (FF), por sua vez, é definido com um índice que representa a volumetria do edifício e é calculado pela razão entre a Área da Envoltória (A_{env}) e o Volume Total da edificação (V_{tot}). A A_{env} indica a soma das áreas das fachadas, empenas e coberturas (áreas em contato com o ambiente externo), incluindo as aberturas e excluindo subsolos e áreas de caixa d'água. O V_{tot} , todavia, trata do volume delimitado pelos ambientes externos, excluindo pátios descobertos (BRASIL,

2010a).

As equações da Envoltória, como salientam Carlo e Lamberts (2010), representam, de forma generalista, a realidade construtiva nacional, já que trata de protótipos de volumetrias mais comuns encontradas a partir de levantamentos. Com isso, a volumetria tornou-se um fator limitante, pois, quando trata-se de volumetrias incomuns elas não se encontram propriamente descritas pelas equações. Por esta razão, além de estabelecidas equações relacionadas a A_{pe} , como explicitado anteriormente, foram estabelecidos valores mínimos e máximos para o Fator de Forma, de acordo com a equação em que se aplica. As equações para $A_{pe} > 500 \text{ m}^2$ são válidas para um FF mínimo permitido e para $A_{pe} \leq 500 \text{ m}^2$ são válidas para um FF máximo permitido. Acima ou abaixo destes, deve-se utilizar os valores limite (Quadro 05) (BRASIL, 2010a).

Quadro 05 – Limites para o FF de acordo com as Zonas Bioclimáticas

		FF mínimo	FF máximo
ZB 1	$\leq 500 \text{ m}^2$	-	0,60
	$> 500 \text{ m}^2$	0,17	-
ZB 2 e 3	$\leq 500 \text{ m}^2$	-	0,70
	$> 500 \text{ m}^2$	0,15	-
ZB 4 e 5	$\leq 500 \text{ m}^2$	-	0,75
	$> 500 \text{ m}^2$	livre	-
ZB 7	$\leq 500 \text{ m}^2$	-	0,60
	$> 500 \text{ m}^2$	0,17	-
ZB 6 e 8	$\leq 500 \text{ m}^2$	-	0,48
	$> 500 \text{ m}^2$	0,17	-

Fonte: RTQ-C (BRASIL, 2010a). Elaborado pela autora.

Para o cálculo de ambos, FA e FF, é recomendada a análise do projeto arquitetônico do edifício, a fim de extrair as áreas e o volume necessários para cada um. O RAC, por sua vez, estabelece o limite de 5% para o caso da não-conformidade com os dados indicados em projeto e os dados avaliados pelo OIA. Este limite é constante para as áreas e o volume da edificação nas três etapas de inspeção: Projeto, Simulação e Edificação Construída (BRASIL, 2013a).

2.5.2.2. Percentual de Abertura da Fachada (PAF)

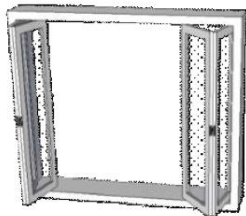
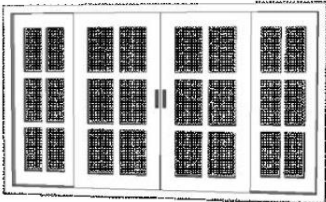
O Percentual de Abertura da Fachada (PAF) é um índice, assim como o PAZ, que estabelece as dimensões das aberturas, porém, difere-se deste pois está relacionado às aberturas verticais (com inclinação superior a 60° em relação ao plano vertical). Podem ser descritas como aberturas verticais, além das janelas convencionais, as portas de vidro e sheds, mesmo que os últimos estejam localizados na cobertura

(BRASIL, 2016a). É calculado pela razão entre a soma das áreas de abertura envidraçada, ou com fechamento transparente ou translúcido, de cada fachada em relação a área total da fachada.

O RTQ-C estabelece que, para o cálculo do PAF_T , devem ser determinados os PAF parciais de cada fachada. Contudo, caso o PAF calculado para a fachada oeste (PAF_O) seja superior ao PAF_T em 20% ou mais, deve-se adotar o PAF_O onde for determinado PAF_T nas equações da Envoltória.

Para o cálculo do PAF, por sua vez, as esquadrias das aberturas podem ser descontadas, já que o percentual se refere apenas às partes translúcidas. Tal desconto pode ser calculado, a partir do projeto das esquadrias ou pode ser declarado a partir de um laudo técnico. O RTQ-R, por sua vez, apresenta uma variável similar ao PAF, a qual se refere ao percentual de abertura para iluminação. Guedes (2012) indicou uma tabela simplificada com os tipos de esquadria mais comuns na realidade construtiva nacional e o percentual de abertura para iluminação de abertura, a qual foi incorporada ao RTQ-R em sua versão de 2012 (BRASIL, 2012b). A Tabela 05, indica dois tipos de janela e o ANEXO II apresenta a tabela completa (RTQ-R).

Tabela 05 – Relação da % de área livre para iluminação por tipo de esquadria

Nº	Tipo de janela	Ilustração	% abertura para iluminação natural
15	tipo camarão		90
16	Pinázio		60






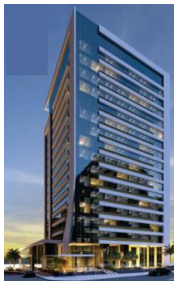


Fonte: Guedes (2012), modificado pela autora.

O LABCON – UFMG, por sua vez, está desenvolvendo um estudo que identificou, entre os edifícios etiquetados, até o momento, que mesmo aqueles que apresentam fachada do tipo Pele de Vidro⁵, o PAF não alcança mais de 55% da área total da

⁵ Pele de vidro é um método para aplicação de vidro em fachadas, que pode ser também chamado de fachada cortina ou *structural glazing*. Por meio dessa alternativa, os perfis

fachada. Tal fato ocorre, pois, internamente, estas fachadas apresentam “peles” de alvenaria ou gesso, a fim de estabilizar os elementos da estrutura (VELOSO, 2016). O Quadro 06 apresenta alguns edifícios etiquetados analisados neste estudo, e seus respectivos PAF_T.

Quadro 06 – Edifícios e seus respectivos PAF_T

Edifício				
	PAF	14,0%	16,0%	16,6%
Edifício				
	PAF	29,0%	37,0%	37,0%

Fonte dos dados: Veloso (2016). Elaborado pela autora.

O RAC (BRASIL, 2013a) estabelece o limite de 5% para o caso da não conformidade dos dados indicados em projeto e os dados avaliados pelo OIA. Este limite é constante para as áreas envidraçadas nas três etapas de inspeção: Projeto, Simulação e Edificação Construída.

2.5.2.3. Fator Solar (FS) de superfícies translúcidas

O vidro, utilizado na composição da Envoltória, apresenta-se como importante elemento para a determinação da eficiência energética de uma edificação. Os vidros são transparentes à radiação de ondas curtas, emitidas pelo sol e opacos à radiação de ondas longas, calor emitido por fontes de baixas temperaturas, por esta razão, é responsável, significativamente, pelo ganho de calor em uma edificação.

Entre os principais tipos de vidro, podem-se destacar:

- Float: vidro plano comum, incolor ou colorido. Representa 98% da atual produção mundial de vidro;

estruturais de alumínio ficam ocultos, ou seja, a fachada aparece totalmente envidraçada externamente (CORNETET, 2009).

- Monolítico: são os vidros float que não passaram por processo de termoendurecimento;
- Laminado: Duas ou mais lâminas de vidro unidas por uma película de polivinil butiral (PVB) por meio de calor ou pressão;
- Insulado ou Duplo: Duas lâminas de vidro separadas por um espaço vedado, preenchido com dessecante. Aplica-se a climas frios e, nos dias atuais, pode ser encontrada também a laminação tripla.
- Refletivo: capacidade de reflexão dos raios solares, aparência externa de “espelho”;
- Controle Solar Baixo Emissivo (Low-E): neutros na aparência, estes reduzem os ganhos e perdas de calor pela radiação infravermelha de onda longa, indicando superior transmissão da luz visível (baixa reflexão) e redução nas transferências de calor.

Cornetet (2009) indica que, em 1982, o vidro float começou a ser fabricado no Brasil, e até 2009, o país apenas produzia vidros incolor e colorido (cinza, verde e bronze) e os vidros coloridos azuis eram importados. O vidro fumê, por sua vez, era primordialmente formado pelo vidro float e películas. Observa-se, a partir de 1990, a tendência pela utilização de vidros com camadas superficiais de baixa emissividade, com o objetivo de reduzir a entrada direta da radiação solar nos edifícios. Tal fato indica a gradativa substituição dos vidros coloridos e dos refletivos pelos vidros Low-E.

Entre as propriedades térmicas e ópticas dos vidros, pode-se destacar o Fator Solar, usualmente fornecido pelos fabricantes em catálogos dos produtos. De acordo com a definição do Manual de Aplicação do RTQ-C (BRASIL, 2016a) o FS é calculado pela razão entre o ganho de calor em um ambiente, através de uma abertura, e a radiação solar incidente nesta mesma abertura. Salienta-se que o FS deve ser analisado não apenas para os vidros, mas para todos os elementos translúcidos componentes da Envoltória.

A Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro (ABIVITRO), em parceria com o LABEEE, e 2015, forneceu uma tabela composta por 60 elementos vítreos, monolíticos e laminados, fabricados no Brasil. Foram indicadas as propriedades ópticas e térmicas destes elementos, para que estes valores possam referenciar o processo de etiquetagem de eficiência energética de edificações segundo as orientações dos regulamentos (RTQ-C, RTQ-R e RAC). Tal Tabela está publicada no Anexo V (V.c) do RAC (BRASIL, 2013a).

O limite de 5%, para o caso da não conformidade entre os dados indicados em projeto e os dados avaliados pelo OIA, é estabelecido pelo RAC. Este limite é constante para os dados referentes aos materiais translúcidos da edificação nas três etapas de inspeção: Projeto, Simulação e Edificação Construída (BRASIL, 2013a).

2.5.2.4. Ângulos de Sombreamento: AHS e AVS

A influência das aberturas no comportamento térmico de edificações, por meio do Método Prescritivo, é caracterizada pelas variáveis: PAZ, PAF e FS, já descritas. Associado às características das aberturas, descritas pelas variáveis citadas, deve-se determinar o sombreamento exercido nessas, o qual é quantificado no RTQ-C, pelos ângulos de Sombreamento, AHS e AVS.

Tais ângulos são descritos no Manual de Aplicação do RTQ-C como aqueles que determinam a obstrução à radiação solar gerada pela proteção solar nas aberturas. O AHS refere-se a proteções verticais de sombreamento (vistas em planta) e o AVS, por sua vez, por proteções horizontais (vistas em corte). No caso de ambos, o ângulo que será utilizado no cálculo da envoltória é determinado pela média ponderada do ângulo de sombreamento em função da área das aberturas (BRASIL, 2016a).

O AHS é caracterizado com o ângulo formado entre dos planos verticais, em que o primeiro é o plano que contém a base translúcida e o segundo, é formado pela extremidade mais distante a da proteção solar vertical e a extremidade oposta da superfície translúcida. Tal ângulo deve ser considerado como a média do ângulo das proteções solares presentes nos dois lados da abertura (BRASIL, 2016a).

O AVS, por sua vez, é caracterizado pelo ângulo formado entre: o plano que contém a base translúcida e o plano da extremidade mais distante da proteção solar horizontal até a base translúcida.

O limite de 5%, para o caso da não conformidade entre os dados indicados em projeto e os dados avaliados pelo OIA, é estabelecido pelo RAC. Este limite refere-se a etapa de inspeção da Edificação Construída (BRASIL, 2013a).

2.6. Sensibilidade do IC_{env} frente às Variáveis da Equação da Envoltória

Maciel e Carlo (2011) realizaram uma análise da sensibilidade do Indicador de Consumo da Envoltória (IC_{env}) em relação às variáveis independentes (PAF_τ, FS, AVS

e AHS) das duas equações representativas de cada Zona Bioclimática (ZB).

A Tabela 06 explicita os resultados de sensibilidade encontrados no estudo das autoras em relação às variáveis analisadas. O PAF_T apresenta-se, de maneira geral, como a variável mais sensível, com exceção das ZBs 04, 05 e 07, para edificações com $A_{pe} \leq 500 \text{ m}^2$ (MACIEL; CARLO, 2011).

Tabela 06 - Influência média dos parâmetros da envoltória, em %

Zonas Bioclimáticas	Área de projeção	Parâmetros			
		PAF_T	FS	AVS	AHS
ZB1	$A_{pe} > 500 \text{ m}^2$	68,72	3,14	13,37	14,77
	$A_{pe} \leq 500 \text{ m}^2$	32,58	25,18	29,63	12,60
ZB 2 e 3	$A_{pe} > 500 \text{ m}^2$	58,06	8,29	24,72	8,94
	$A_{pe} \leq 500 \text{ m}^2$	36,23	17,64	29,47	16,66
ZB 4 e 5	$A_{pe} > 500 \text{ m}^2$	46,39	45,31	5,34	2,96
	$A_{pe} \leq 500 \text{ m}^2$	14,84	26,18	45,58	13,39
ZB 7	$A_{pe} > 500 \text{ m}^2$	56,42	19,17	10,20	14,20
	$A_{pe} \leq 500 \text{ m}^2$	8,84	21,60	31,44	38,12
ZB 6 e 8	$A_{pe} > 500 \text{ m}^2$	68,56	5,13	19,30	7,00
	$A_{pe} \leq 500 \text{ m}^2$	36,37	15,65	35,67	12,32

Fonte: Maciel e Carlo (2011).

Na análise das equações para edifícios com $A_{pe} > 500 \text{ m}^2$, observa-se que o PAF_T apresenta sensibilidade maior que 50% na maioria dos casos, com exceção das ZBs 4 e 5 (46,39%). O FS, nesse caso, apresentou uma influência pouco significativa nas ZBs 1, 2, 3, 6 e 8, porém, na ZB 7, este efeito é notável, mas ainda assim, menor que o PAF. Quanto aos ângulos de sombreamento, por sua vez, esses apresentaram menor influência nas equações de todas as ZBs. Nas ZBs 02, 03, 06 e 08 o AVS apresentou maior influência que o AHS. Na ZB 07, porém, o AHS exerce maior influência (MACIEL; CARLO, 2011).

Em relação as equações para $A_{pe} \leq 500 \text{ m}^2$ todas as variáveis apresentam peso considerado representativo na equação, o que indica que, em edifícios menores, a alteração em qualquer uma delas pode influenciar de maneira significativa o IC_{env} . Nas ZBs 01, 02, 03, 06 e 08 o PAF_T representou maior influência, seguido do AVS. Na ZB 07, todavia, as variáveis de maior influência foram os ângulos de sombreamento (MACIEL; CARLO, 2011).

As ZBs 04 e 05, em ambas as equações, apresentaram comportamento atípico, não explicado no estudo de Maciel e Carlo (2011). Nessas ZBs, o FS apresentou influência

significativa, atrás somente do PAF_T , no caso de $A_{pe} > 500 \text{ m}^2$ e do AVS, no caso de $A_{pe} \leq 500 \text{ m}^2$.

A análise de sensibilidade configura-se como uma importante ferramenta para verificar o peso das variáveis no cálculo do IC_{env} . Quando esse peso é conhecido, é possível estabelecer alterações pontuais a serem realizadas no projeto, a fim de o nível de eficiência almejado seja alcançado. As autoras recomendam que, para estudos futuros a fim de aperfeiçoar o Método Prescritivo, a análise de sensibilidade seja realizada durante o processo de determinação da equação (MACIEL; CARLO, 2011).

2.7. Considerações sobre a Avaliação da Envoltória pelo Método Prescritivo: Potencialidades e Limitações

Neste tópico, por sua vez, são apresentadas as considerações sobre a avaliação da Envoltória pelo Método Prescritivo, apontadas pelos órgãos de aplicação dos regulamentos, pela comunidade acadêmica e pelos projetistas. O foco das análises está nos documentos complementares ao RTQ-C e RAC, na avaliação da Envoltória de Edificações existentes, no tempo aplicado e nos custos da etiquetagem.

Como já explicitado, o número de etiquetas emitidas desde o lançamento do RTQ-C até janeiro de 2016 (INMETRO, 2016), é baixo, quando comparado à grande expansão do campo edificado ocorrida na última década e ao grande número de construções existentes.

Scalco *et al.* (2014) indicam que, para a absorção da etiquetagem pelo mercado, são necessárias ações capazes de mensurar os benefícios alcançados a partir de um alto nível de classificação em relação à eficiência energética. O estudo desenvolvido pelos autores simulou modelos de referência, utilizando o programa S3E, desenvolvido no Laboratório de Eficiência Energética de Edificações (LABEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), e identificou, entre outros aspectos, a gradual economia no consumo de energia em todos os níveis de eficiência propostos pelo RTQ-C até alcançarem o nível “A”.

Os resultados comparativos indicaram que, a economia de energia elétrica média alcançada entre os modelos do nível “A” e “D” é de, aproximadamente, 26% e variando entre 21% e 34%, de acordo com as características da edificação e a ZB na qual se insere. Tal estudo reforça, por sua vez, que a etiquetagem pelo RTQ-C é

eficiente em refletir a economia de energia elétrica nos edifícios (SCALCO *et al.*, 2014).

Giaretta, Teixeira e Westphal (2012) identificaram, por sua vez, a partir da avaliação de um estudo de caso no Rio de Janeiro, dificuldades encontradas na aplicação do RTQ-C. Os autores concluíram que a complexidade de aplicação do Método Prescritivo, mesmo considerado o método mais simples para a avaliação de edificações, está relacionada, principalmente, ao entendimento do processo e à determinação das variáveis, a partir dos procedimentos recomendados.

Desde o lançamento da etiquetagem, contudo, são apontadas ações de melhoria, e, com o objetivo de aperfeiçoamento das condições de aplicação e dos resultados obtidos, os processos e métodos envolvidos na etiquetagem passaram por análises e revisões.

A comunidade científica iniciou este processo de análise do RTQ-C ainda em 2009, com o objetivo de avaliar a aplicação da etiquetagem e os resultados obtidos. Por meio da publicação de artigos científicos em eventos e periódicos da área, a partir de 2010, por sua vez, passaram a identificar as potencialidades e as limitações na aplicação do regulamento, por meio, em sua maioria, da experiência adquirida com a etiquetagem dos primeiros edifícios comerciais, de serviços e públicos.

Além das revisões dos documentos e da publicação das Portarias Complementares, citados anteriormente, documentos auxiliares foram elaborados. Trata-se de Notas Técnicas, manuais de aplicação dos regulamentos, guias para incentivar e instruir os projetistas a alcançar uma boa classificação energética, entre outros. O objetivo dessas publicações é acrescentar informações aos regulamentos e esclarecer o processo de etiquetagem a partir da aplicação em edifícios exemplo, de guias ilustrados, entre outros meios. Além disso, foi divulgada também uma ferramenta de avaliação *online*, o Webprescritivo.

Como outra maneira de sanar as dúvidas de profissionais que aplicam a etiquetagem ou desejam fazê-lo, foi disponibilizado, na plataforma virtual do PBE Edifica, um fórum de perguntas e respostas. As dúvidas postadas neste fórum são respondidas por uma equipe técnica de responsabilidade do INMETRO, e, o acesso às respostas é livre para qualquer usuário. A postagem das dúvidas, por sua vez, é possível a partir de um prévio cadastro.

2.7.1. Documentos Auxiliares ao RTQ-C: Manuais e Notas Técnicas

Entre os documentos publicados para sanar possíveis questionamentos e interpretações dos termos, além de inserir novas informações ao processo, destacam-se os Manuais e as Notas Técnicas (NTs). Em relação aos Manuais do RTQ-C, foram publicados o Manual para a Aplicação do RTQ-C (BRASIL, 2016a) e o Manual para a Aplicação do RAC (BRASIL, 2014c). O primeiro está na sua quarta versão e visa esclarecer as possíveis dúvidas em relação ao conteúdo do RTQ-C, a partir da explicação e justificativa de cada tópico, definição ou conceito expostos no regulamento (BRASIL, 2016a). O segundo, por sua vez, está em sua primeira versão e objetiva exemplificar e esclarecer todos os conceitos do RAC, a fim de que o projetista esteja, ao fim da leitura, apto a solicitar uma etiqueta junto a um OIA (BRASIL, 2014c).

As Notas Técnicas, por sua vez, são documentos elaborados por especialistas, os quais tratam da análise completa de um contexto, são legalmente fundamentados e baseados em informações relevantes. Até 28 de abril de 2016, foram publicadas 18 Notas Técnicas, com a função de acrescentar informações aos regulamentos, além de gerar esclarecimentos sobre determinados processos utilizados para a etiquetagem. Das Notas Técnicas publicadas, cinco se referem à análise da Envoltória pelo Método Prescritivo do RTQ-C: a NT 07; a NT 08; a NT 09; a NT 15; e a NT 17 (site PROCEL, 2016).

Carlo e Lamberts (2010) discutiram algumas limitações para a aplicação do Método Prescritivo, entre elas, a análise de geometrias complexas. A Nota Técnica 07 (BRASIL, 2014d), publicada em outubro de 2014, neste sentido, trata da etiquetagem de edificações comerciais, de serviços e públicas em blocos, e indica um processo de avaliação deste tipo de edificação (blocos conectados, edificações com átrios, pátios e jardins de inverno).

A necessidade desta publicação surgiu, pois, as equações da Envoltória, por serem baseadas em protótipos paralelepípedos, não descrevem corretamente o comportamento de volumetrias divididas em blocos. A NT 07 recomenda, portanto, que os diferentes blocos identificados na edificação devem ser avaliados separadamente e, por fim, a classificação final é indicada por uma ponderação em relação a área da envoltória de cada um deles.

Entende-se, ainda, a partir da análise da NT 07, que não é permitida a avaliação de partes da Envoltória, pertencentes a um mesmo bloco. Costa e Souza (2015), contudo, aplicaram o processo de etiquetagem em uma loja, localizada em uma edificação composta por outros estabelecimentos comerciais. As autoras constataram que, a

avaliação de toda a Envoltória, não apenas aquela referente à área ocupada pela loja dificultou a aplicação do processo, principalmente por demandar maior tempo de análise. As autoras sugerem que seja possível a avaliação da Envoltória em separado de ambientes de uma edificação, a fim de simplificar o processo em casos como o estudado.

A Nota Técnica 09 (BRASIL, 2015a), por sua vez, também trata da penalização a qual sofriam as edificações que apresentam telhado jardim ou telhas cerâmicas, no cálculo da absorvância. Antes da publicação da NT 09, essas superfícies não entravam na ponderação, portanto, uma medida de comprovada eficiência energética não era avaliada pelo Método Prescritivo. A partir desta NT, contudo, ficou definido que, caso a área total de cobertura seja ocupada por teto jardim ou telhas cerâmicas em 2/3 (dois terços) da área total ou mais, o pré-requisito da absorvância para nível A será atendido, independentemente do valor da absorvância do restante da área. Todavia, caso a porção coberta pelo teto jardim seja inferior a 2/3 da cobertura, deve-se calcular o valor total da absorvância da cobertura através de uma ponderação em função dos percentuais das diferentes áreas existentes, utilizando como absorvância dessa superfície, o valor teórico 0,25. Esta NT, por sua vez, indicou uma simplificação no cálculo da absorvância, a partir do estabelecimento do valor teórico.

A Nota Técnica 15 (BRASIL, 2015b) trata do uso de vidros serigrafados em vedações externas, indicando como considerar o Fator Solar e PAF no caso de uso desse tipo de vidro. Indica que, neste caso, os ângulos de sombreamento não são considerados para o cálculo do IC_{env} .

A Nota Técnica 17 (BRASIL, 2016b), por sua vez, também trata do cálculo da absorvância de superfícies, neste caso, aquelas cobertas por painéis fotovoltaicos. A NT 07 indica que as áreas cobertas por painéis solares não são consideradas para o cálculo da absorvância. No fórum de perguntas do PBE-Edifica, houve o questionamento sobre esta NT. Não está claro, na NT 17, se o fato de não considerar estas áreas para o cálculo pode penalizar a avaliação, como ocorria no caso dos telhados jardim antes da publicação da NT 09.

A partir da análise dos documentos complementares ao RTQ-C, associados às considerações encontradas na literatura e levantadas por projetistas, é possível indicar a existência de esforços dos Órgãos responsáveis pela etiquetagem para melhoramento contínuo do processo. Considera-se que, as publicações apresentam-se coerentes no objetivo de minimizar as dúvidas na aplicação dos processos, além de

solucionar incoerências textuais.

2.7.2. Avaliação da Envoltória de Edificações Existentes

Para a avaliação de edificações existentes é possível seguir apenas o processo de Inspeção de Edificação Construída, não sendo necessária a avaliação na fase de projeto. Os edifícios existentes assumem, em geral, uma classificação média menor do que a alcançada pelos edifícios novos, como observado em Portugal (ADENE, 2013). No Brasil, o nível médio de eficiência energética da Envoltória de edificações comerciais, de serviços e públicas existentes, identificado por Carlo (2008), é o nível “D”.

Leder e Lima (2010), por sua vez, identificaram como algumas mudanças na composição arquitetônica de um edifício existente estudado e suas características construtivas podem modificar o nível de eficiência da Envoltória de “C” para “A”. Tal consideração reforça a importância em estabelecer a classificação do nível de eficiência energética das edificações existentes, a fim de que melhorias possam ser iniciadas e aplicadas a estas edificações.

Costa e Souza (2015) aplicaram o processo de etiquetagem da Envoltória de uma edificação existente, apontando as dificuldades em realizar esta avaliação. Segundo as autoras, quanto mais antiga a edificação, mais dificultada é a análise, já que, muitas informações se perdem, impedindo a realização dos procedimentos de cálculo. As autoras apontaram que, para a avaliação da edificação em estudo, grande parte das informações levantadas foi coletada em entrevistas e na avaliação *in loco*.

Outro entrave comum para a análise da Envoltória de edificações existentes, identificado na literatura e fonte de questionamentos no fórum de perguntas do PBE-Edifica, se relaciona com a ação do tempo nos materiais. As fontes de dados indicadas pelo RTQ-C, como a NBR 15220 (ABNT, 2005), indicam valores para materiais novos, e, variáveis como a absorvância podem ser modificadas pela ação do tempo. A equipe técnica do PBE Edifica recomenda a medição em laboratório, para a determinação da absorvância no caso de superfícies envelhecidas, a qual demanda tempo e apresenta maior custo.

As dificuldades citadas para a avaliação de edificações existentes, principalmente as mais antigas, pode tornar a busca pela etiquetagem pouco atrativa para os proprietários. Considera-se que o alto custo com o processo de reforma, para a adaptação e aplicação de medidas de eficiência energética, por sua vez, também

contribui para a pouca atratividade da etiquetagem nestes casos.

Todavia, ações em prol do aumento do nível de eficiência energética de edificações existentes indicam real economia de energia, e, os resultados apresentados sobre a certificação de edificações em Portugal demonstram os benefícios na aplicação dessas ações. Além disso, conhecer o desempenho energético do campo edificado mostra-se como eficiente ferramenta para traçar medidas de eficiência energética em um país.

2.7.3. Considerações sobre o Tempo e o Custo da Etiquetagem

Uma das principais limitações à absorção da etiquetagem no mercado nacional, além da dificuldade de interpretação dos procedimentos envolvidos, é o tempo aplicado em treinamento e no desempenho do processo (GALAFASSI, 2012).

Rodrigues *et al.* (2012), neste sentido, realizaram uma análise da aplicação do Método Prescritivo em nove edificações, com o objetivo de identificar as limitações do processo de diagnóstico, o tempo necessário para a aplicação dos métodos e o custo estimado ao fim das atividades.

Neste estudo identificou-se que, para o treinamento da equipe, considerada a primeira etapa da etiquetagem, o período total demandado foi de quatro semanas. A partir deste treinamento, de acordo com os autores, para a realização das etapas de etiquetagem de um edifício de baixa complexidade, o tempo total médio gasto foi de 232 horas, o que equivale ao trabalho de um profissional durante 29 dias úteis.

A partir da análise do Quadro 07, observa-se que os procedimentos direta ou indiretamente relacionados à avaliação da Envoltória, representaram, 92 horas de trabalho de um avaliador (40% do tempo total com a etiquetagem). Enquanto isso, o Sistema de Iluminação correspondeu a 56 horas (24%) e o Sistema de Condicionamento de Ar, a 32 horas (14%). Tais observações corroboram a complexidade da avaliação da Envoltória frente aos outros sistemas.

Quadro 07 – Procedimentos para a Etiquetagem pelo Método Prescritivo e o Tempo de Análise

tem	Procedimento	Descrição	Execução
01	Orçamento	A partir do formulário de etiquetagem e projetos, conforme procedimento da qualidade.	2h
02	Análise documentação recebida	Confeccionar Relatório das informações pendentes ou incompletas (checklist).	2h
03	Análise do projeto	Familiarização, levantar dados de áreas e inseri-los nas planilhas.	12h
04	Verificação de pré-requisitos gerais	Verificar divisão dos circuitos por uso final, elevadores, aquecimento de água e inserir dados no relatório de pré-requisitos.	8h
05	Bonificação	Quando aplicável, verificar/ confeccionar relatório de comprovação de economia de água (em posse do projeto hidrosanitário e memoriais) e/ou relatório para demais bonificações aplicáveis.	20h
06	Mapeamento e cálculo sistemas construtivos	Mapeamento dos sistemas construtivos (paredes externas e cobertura) da envoltória do edifício e quantificação de suas áreas. Calcular a transmitância e capacidade térmica para as áreas de cobertura acima de áreas condicionadas e áreas não condicionadas.	20h
07	Mapeamento das cores/revestimentos Definição absorvância	Mapeamento das cores (revestimentos opacos) da envoltória do edifício (paredes externas e cobertura), quantificação de suas áreas e definição dos valores de absorvância.	12h
08	Levantamento da ape, apcob, atot	Levantamento das variáveis: Área de projeção do edifício (Ape), Área de projeção da cobertura (Apcob), Área total de piso (ATot).	8h
09	Levantamento da área de envoltória	Levantamento das áreas das fachadas, empenas e cobertura, incluindo as aberturas.	8h
10	Levantamento de aberturas	Levantamento das áreas com fechamento translúcido ou transparente da envoltória. Separar aberturas zenitais de aberturas verticais. Nomear todas as aberturas e preencher a planilha.	16h
11	Levantamento dos ângulos de somb.	Levantamento dos Ângulos Horizontais de Sombreamento (AHS) e Ângulos Verticais de Sombreamento (AVS), preencher planilha.	12h
12	Fator solar	Verificar catálogo ou laudo do fabricante do vidro e/ou película utilizada para elementos translúcidos ou transparentes	4h
13	Levantamento das áreas iluminadas	Levantamento das áreas iluminadas do edifício. Atentar para ambientes desconectados ou descobertos.	12h
14	Levantamento dos equipamentos de iluminação	Levantamento dos equipamentos de iluminação: lâmpadas luminárias e reatores por meio de projeto luminotécnicos e memoriais de cálculo e especificação. Inserir na planilha.	20h
15	Cálculo da eficiência de iluminação	Classificação da(s) atividade(s) principal(is) do edifício, definição do método e preenchimento da planilha de cálculo.	12h
16	Verificação de pré-requisitos iluminação	Verificação do atendimento dos pré-requisitos específicos de iluminação: Divisão de Circuitos (amb. acima 250m ²), Contribuição de Iluminação Natural, e Desligamento automático (amb. acima 250m ²). Inserir na planilha	12h
17	Levantamento de equipamentos de condicionamento de ar.	Levantamento dos equipamentos de condicionamento de ar (tipo, capacidade, potência, modelo e etiqueta).	12h
18	Verificação dos pré-requisitos	Verificação dos pré-requisitos (sombreamento) e da carga térmica.	12h
19	Determinação do EqNumCA	Determinação do nível de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar.	8h
20	Envio para o OIA da documentação	Preenchimento das planilhas de fornecimento de dados do RAC e demais documentações exigidas pelos OIAs, compilação e organização dos arquivos.	20h

Fonte: Rodrigues *et al.*, 2012.

Os autores concluíram que, caso a aplicação do regulamento se torne compulsória para todas as tipologias de edifícios, o número de profissionais aptos para a realização das avaliações, naquela ocasião, seria insuficiente para abranger a demanda pela análise de todo o campo edificado, bem como das novas construções no Brasil.

Outro fator que contribui para o aumento dos custos de projeto está relacionado a interpretação dos processos solicitados para a avaliação pelo Método Prescritivo.

Como explicitado nos itens anteriores, alguns procedimentos de análise e avaliação não são facilmente assimilados pelos projetistas que não tenham experiência direta com a análise de desempenho energético. Galafassi e Pereira (2013) realizaram uma análise da mobilização dos projetistas em relação à aplicação do RTQ-C. Os autores indicaram que o auxílio de um consultor é essencial para a aplicação do regulamento, devido à dificuldade de sua interpretação pelos projetistas.

Por esta razão, com efeito de minimizar os custos e tempo aplicado no processo de etiquetagem, simplificações, principalmente as que tangem a avaliação da Envoltória se fazem necessárias.

3. METODOLOGIA

O Capítulo III – Metodologia descreve as etapas metodológicas propostas para atender aos objetivos do presente estudo. A pesquisa indica a elaboração e verificação de procedimentos simplificados para o cálculo ou determinação numérica das variáveis relacionadas ao Método Prescritivo do RTQ-C, para a avaliação da Envoltória de edificações existentes.

A metodologia adotada consiste em cinco etapas principais, as quais serão apontadas na Figura 07 e descritas em detalhes nos itens subsequentes deste capítulo.

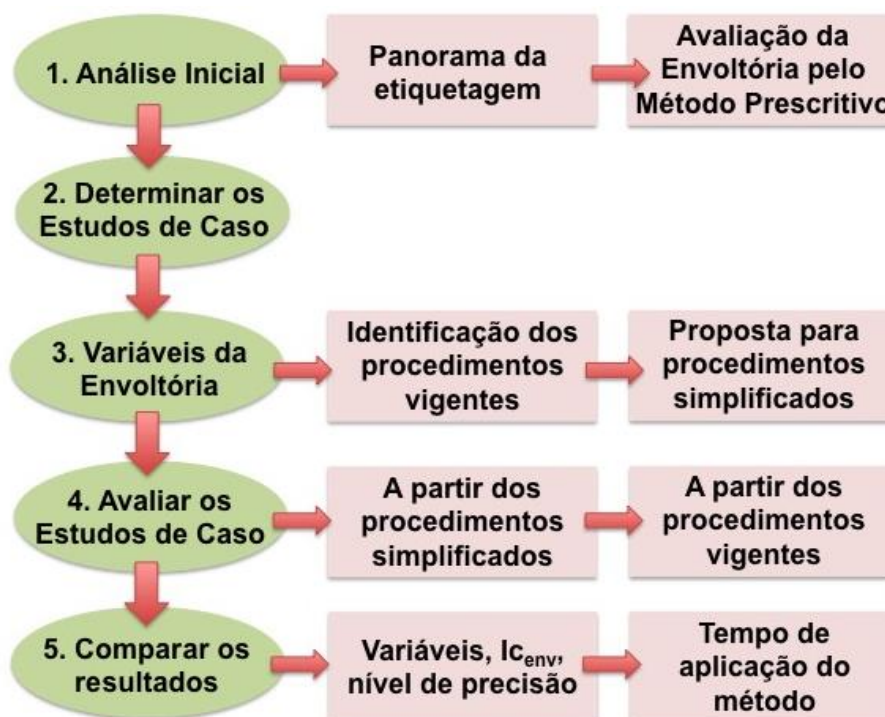


Figura 07 – Fluxograma das etapas metodológicas do presente estudo. Elaborado pela autora.

3.1. Análise Inicial: Revisão de Bibliografia

A presente etapa trata dos tópicos discutidos no Capítulo II. Para a realização desta, busca-se o entendimento do tema abordado e dos objetivos do estudo a partir de artigos científicos e outros trabalhos e estudos de relevância nacional e internacional.

3.1.1. Panorama da Etiquetagem

Na primeira etapa do estudo foi realizada uma revisão de literatura, apresentada no Capítulo II, direcionada à eficiência energética, às certificações ambientais e aos

regulamentos de desempenho energético de edificações, analisados no contexto mundial e nacional.

O processo de certificação de edificações aplicado em Portugal, o SCE, foi analisado, por apresentar uma metodologia simplificada de coleta e análise de dados. O RTQ-C, com o enfoque para o Método Prescritivo, foi também apresentado, como parte do conjunto de iniciativas para promover a eficiência energética no Brasil. O estudo sobre a metodologia simplificada aplicada em Portugal subsidiou a elaboração de algumas das propostas de simplificação que se enquadram ao Método Prescritivo do RTQ-C, as quais serão explicitadas no Capítulo V – Resultados e Discussões.

Ainda como parte da primeira etapa da Revisão de Literatura, o perfil dos edifícios etiquetados pelo RTQ-C foi traçado, para que fosse analisada, entre outros aspectos, a abrangência da etiquetagem, pelo Método Prescritivo e para as edificações existentes. Isso ocorreu a partir da análise dos dados, de 2009 a janeiro de 2016, apresentados na Tabela de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas etiquetadas (INMETRO, 2016), a qual é atualizada periodicamente pelo INMETRO e disponibilizada no site do PBE – Edifica.

3.1.2. Análise da Aplicação do Método Prescritivo na Avaliação da Envoltória

A segunda etapa da Revisão de Bibliografia trata, primeiramente, da identificação das variáveis relacionadas à avaliação da Envoltória de edifícios. Para isso, o Método Prescritivo foi analisado, e, foram definidas as variáveis relacionadas aos pré-requisitos e às equações da Envoltória. Tais equações variam de acordo com a A_{pe} da edificação analisada e de acordo com a ZB na qual está inserida. As variáveis identificadas foram: transmitância térmica das superfícies externas; absorvância à radiação solar das superfícies externas; Áreas (as quais definem FF e FA); FS; PAZ; PAF e Ângulos de Sombreamento (AVS e AHS).

Foram determinados os procedimentos vigentes para a determinação e/ou cálculo de cada uma das variáveis identificadas, de acordo com as recomendações do RTQ-C, do RAC e das normas vigentes, como a NBR 15220 (ABNT, 2005). A análise do RAC (BRASIL, 2013a) indicou, para cada variável, os limites de tolerância entre os valores fornecidos pelo solicitante da etiqueta e os valores calculados pelo OIA. Além disso, a sensibilidade das variáveis PAF, FS, AVS e AHS frente às diferentes equações do Método Prescritivo foram apresentadas, a partir da análise da publicação de Maciel e Carlo (2011).

Ainda nesta etapa, com o objetivo de identificar as considerações sobre a avaliação da Envoltória pelo Método Prescritivo do RTQ-C, foram analisadas as publicações referentes aos três diferentes atores envolvidos no processo de etiquetagem:

- Órgãos de aplicação dos regulamentos: A partir dos documentos complementares ao regulamento (manuais e Notas Técnicas);
- Comunidade acadêmica: A partir da discussão das principais considerações levantadas nos artigos científicos, publicados entre 2010 e abril de 2016;
- Projetistas: A partir da apresentação das principais e mais recorrentes dúvidas postadas na plataforma virtual do PBE Edifica. O levantamento dessas dúvidas foi realizado no período de 23 e 24 de abril de 2016, e, estas foram identificadas e categorizadas quanto ao tema central do questionamento.

Destacam-se entre os tópicos discutidos: a clareza do texto; o entendimento dos parâmetros de cálculo; e as dificuldades no levantamento de dados dos edifícios, principalmente os existentes.

3.2. Determinação dos Estudos de Caso

Para a composição da amostra dos estudos de caso foram selecionados quatro edifícios existentes, localizados na cidade de Belo Horizonte – MG. A escolha foi pautada na busca pela variação das características a serem avaliadas, a fim de cada variável e procedimento proposto pudesse ser aplicado a, pelo menos, duas edificações. O Quadro 08 indica as principais características dos edifícios selecionados.

Quadro 08 – Edifícios selecionados como estudos de caso e suas principais características

Edifício	Uso	A_{tot} (m ²)	A_{pe} (m ²)	Ano da Edificação
Edifício I	Escritórios	947,00	315,67	2004
Edifício II	Educacional	8662,00	2165,50	2011
Edifício III	Escritórios	15452,87	908,99	2010
Edifício IV	Escritórios	16452,16	587,58	2012

Fonte: Elaborado pela autora.

Os edifícios I e II estão localizados no campus da UFMG e possuem volumetria horizontalizada. Estes apresentam diferentes padrões para A_{pe} : $A_{pe} < 500$ (edifício I) e $A_{pe} > 500m^2$ (edifício II). Cada um deles, portanto, está sujeito à avaliação por uma diferente equação proposta para cada ZB, e estes não passaram por nenhum

processo prévio de avaliação de desempenho energético.

Os edifícios III e IV estão localizados na região Centro-Sul da cidade de Belo Horizonte e configuram-se como edifícios verticalizados. Estes, por sua vez, passaram pelos processos de etiquetagem de inspeção de Projeto, segundo o Método Prescritivo do RTQ, e de inspeção da Edificação Construída.

Para cada edifício, portanto, as variáveis estabelecidas no Quadro 09 foram testadas, primeiramente, a partir dos procedimentos simplificados propostos neste estudo e, posteriormente, pelos procedimentos vigentes aplicáveis. No caso dos edifícios III e IV, os quais já passaram pelo processo de inspeção da Edificação Construída, os procedimentos vigentes não foram aplicados, mas sim, utilizados os dados do Relatório de Inspeção da Edificação Construída.

Quadro 09 - Variáveis testadas em cada estudo de caso

Variável	Edifício I	Edifício II	Edifício III	Edifício IV
U	X	X		
Absortância	X	X		
PAZ		X	X	
Áreas (FF e FA)	X	X		
PAF	X	X	X	X
FS	X	X	X	X
AVS e AHS	X	X	X	X
ICenv	X	X	X	X

Fonte: Elaborado pela autora.

Buscou-se, na seleção dos estudos de caso, uma variação de dados na amostra, a fim de que cada procedimento proposto fosse aplicado em pelo menos 02 edifícios. O fato dos edifícios estarem localizados na cidade onde a pesquisa foi realizada proporcionou o acesso facilitado às informações e a realização das inspeções para o levantamento de dados.

Os estudos de caso e suas principais características serão descritos no Capítulo IV - Estudos de Caso, enquanto os resultados dos testes realizados e a comparação destes serão descritos no Capítulo V – Resultados e Discussões.

3.3. Procedimentos para a Determinação das Variáveis da Envoltória

Nesta etapa os procedimentos vigentes, indicados pelo RTQ-C, pelo RAC e pela literatura, são identificados e categorizados, de acordo o nível de precisão dos dados relacionados e dos resultados: nível 1 (alta precisão) e nível 2 (média precisão).

Em seguida, é descrita a metodologia aplicada para a elaboração de procedimentos simplificados para a determinação de cada variável da Envoltória, classificados nesse estudo com o nível de precisão 3. Tais procedimentos são elaborados a partir dos procedimentos vigentes; das indicações de normas nacionais, como a NBR 15220 (ABNT, 2005); da produção científica; dos catálogos de fabricantes de elementos e sistemas construtivos; e da metodologia de outros programas de avaliação de desempenho, como o SCE.

3.3.1. Determinação dos Níveis de Precisão dos Procedimentos Vigentes

A presente etapa trata da determinação do nível de precisão dos procedimentos vigentes identificados, na etapa anterior, para o cálculo de cada variável da Envoltória. Os níveis de precisão apresentados foram determinados de acordo com a precisão das informações utilizadas para o cálculo e dos resultados alcançados com a aplicação de cada procedimento. Foram estabelecidos 02 níveis de precisão:

- Nível 1: Alta precisão - Inclui procedimentos que apresentam valores aferidos na edificação existente ou projetos *as built*. Os dados são obtidos a partir de cálculos numéricos precisos e medições *in loco*;
- Nível 2: Média precisão - Procedimentos que partem de dados do período de construção da edificação, os quais podem ter sofrido alterações durante o período de operação. Trata também dos procedimentos baseados em tabelas de dados pré-estabelecidos.

3.3.2. Proposta de Procedimentos Simplificados para a Avaliação de Edificações Existentes

Como observado pelos atores envolvidos no processo de etiquetagem durante a análise da aplicabilidade do Método Prescritivo (item 2.7, do Capítulo II), nem sempre os dados necessários para a aplicação dos procedimentos com nível de precisão 1 e 2 estão disponíveis. Tal fato é observado, principalmente, em edificações existentes. Por esta razão, a fim de simplificar a avaliação dessas edificações, foram propostos procedimentos simplificados para a determinação das variáveis da Envoltória, os quais foram categorizados como o nível de precisão 3:

- Nível 3: Baixa precisão - Procedimentos baseados em informações visuais e na subjetividade do avaliador.

A seguir será descrito o processo metodológico para a elaboração dos procedimentos simplificados referentes a cada variável da Envoltória. No Capítulo V – Resultados e Discussões, contudo, os procedimentos simplificados propostos serão apresentados no formato de tabelas, entre outros recursos, e a sua aplicação descrita.

3.3.2.1. Transmitância Térmica (U)

Para a elaboração de um procedimento simplificado de determinação da transmitância térmica, primeiramente, foram observados os limites estabelecidos pelo RTQ-C para as diferentes zonas bioclimáticas, para paredes externas e para coberturas (Tabelas 03 e 04, apresentadas no Capítulo II).

Em seguida, foi realizado um levantamento de diferentes composições de materiais, comuns à realidade construtiva brasileira, e identificada a transmitância térmica de cada composição. Para este levantamento, foram utilizados os dados disponíveis na NBR 15220-2 (ABNT, 2005), na Tabela V.a. do Anexo V. do RAC (BRASIL, 2013a) e no banco de dados de superfícies externas do LABCON/UFMG.

Identificou-se, contudo, que as composições disponíveis na literatura não atingem a todos os limites indicados pelo RTQ-C, principalmente para as zonas bioclimáticas que exigem menor transmitância térmica. Por esta razão, foram criadas novas composições e calculada a transmitância térmica de cada uma delas, de acordo com o método estabelecido pela NBR 15220 (ABNT, 2005).

Foram elaboradas, portanto, duas tabelas, uma para paredes externas e outra para coberturas, contendo as informações de transmitância térmica, entre outros dados, das composições fruto dos levantamentos e das composições criadas durante este estudo. Nas tabelas elaboradas, as composições foram categorizadas de acordo com o elemento componente principal, por exemplo, no caso das paredes externas o bloco cerâmico e, na cobertura, a laje de concreto.

As tabelas propostas e sua utilização, bem como o procedimento simplificado para a determinação da transmitância térmica de paredes externas e coberturas, serão descritos no Capítulo V – Resultados e Discussões.

3.3.2.2. Absortância à Radiação Solar (α)

O limite estabelecido pelo RTQ-C para a absorvância à radiação solar é de 0,5 e aplica-se da ZB 02 à ZB 08, para que os edifícios alcancem os níveis “A” e “B” de eficiência, no caso das paredes externas e, nível “C” no caso das coberturas.

Para a elaboração de um procedimento simplificado de determinação da absorvância à radiação solar, por sua vez, foi realizado um levantamento a fim de coletar os dados medidos, a partir de métodos normalizados, de diferentes materiais e tintas novos, utilizados na construção civil. Tais dados foram coletados na NBR 15220-2 (ABNT, 2005), Tabela V.b. do Anexo V. do RAC (BRASIL, 2013a) e na tese de Dornelles (2008). Por sua vez, foram criadas duas tabelas com valores padrão para a absorvância de materiais e outra para tintas, as quais agrupam as informações levantadas em todas as fontes de dados consultadas. As tabelas serão apresentadas no Capítulo V - Resultados e Discussões.

No caso da tabela referente aos dados dos materiais foram estabelecidos os valores referentes a materiais novos e envelhecidos (mais de cinco anos de uso), já que o procedimento simplificado se aplica às edificações existentes. Para o cálculo da absorvância de superfícies envelhecidas, aos valores de absorvância para materiais novos, foi acrescida uma taxa referente ao fator de manutenção, de acordo com a Equação proposta por Levinson et al. (2002) (Equação 01, apresentada no Capítulo II).

No caso das tintas, por sua vez, os valores de absorvância foram categorizados em: pintura nova lisa, pintura nova rugosa, pintura envelhecida lisa e pintura envelhecida rugosa. A Tabela V.b. do Anexo V. do RAC (BRASIL, 2013b) foi utilizada como base para fornecer os valores de absorvância para superfícies novas lisas, de acordo com as medições realizadas para 60 tipos de tintas.

No caso das superfícies rugosas pintadas, por sua vez, aos valores de absorvância indicados para as superfícies lisas, na Tabela base (BRASIL, 2013a), foi aplicado um fator de majoração, de acordo com a categoria de cor em que a tinta se enquadra. Este fator de majoração representa a porcentagem de aumento da absorvância destas superfícies rugosas em relação às superfícies lisas, e será descrito no Capítulo V – Resultados e Discussões.

Ainda, como o procedimento simplificado aplica-se às edificações existentes, aos valores de absorvância estabelecidos para superfícies lisas e superfícies rugosas, foi acrescida uma taxa referente ao fator de manutenção aplicado a pinturas com mais de cinco anos de uso, de acordo com a equação proposta por Levinson et al. (2002) (Equação 01, apresentada no Capítulo II).

A Tabela base (BRASIL, 2013a) também foi utilizada para estabelecer uma escala de cores, a qual pode ser levada a campo e comparada às amostras nas superfícies externas. Para a criação desta escala, por sua vez, partiu-se da categorização das cores pré-estabelecida por Dornelles (2008): brancos; amarelos; vermelhos e marrons; azuis e verdes; cinzas e pretos.

As utilizações da escala de cores e das tabelas propostas, além do procedimento simplificado para a determinação da absorvância à radiação solar de paredes externas e coberturas, serão descritos no Capítulo V – Resultados e Discussões.

3.3.2.3. Percentual de Abertura Zenital (PAZ)

O RTQ-C estabelece limites para o FS de acordo com a área ocupada pela abertura zenital como pré-requisito para os níveis A e B de eficiência energética, os quais foram explicitados no Quadro 04 – Capítulo II.

Por esta razão, para a elaboração de um procedimento simplificado para o PAZ, serão incorporados os procedimentos simplificados indicados para: o cálculo de áreas, aplicados para estabelecer a área da abertura zenital e da A_{pcob} ; e o FS, aplicado ao vidro utilizado na abertura zenital. A partir da definição da área da abertura zenital, do A_{pcob} e do FS, por meio dos respectivos procedimentos simplificados, por sua vez, será possível determinar o PAZ.

3.3.2.4. Áreas

Como explicitado no Capítulo II – Revisão de Bibliografia, o cálculo das áreas e do volume da edificação são primordiais para a escolha da equação a ser utilizada (A_{pe}), e para o cálculo do FF (razão entre a A_{env} e o V_{tot}) e do FA (razão entre a A_{pcob} e a A_{tot}).

Por esta razão, a partir da análise e identificação dos procedimentos aplicados na metodologia simplificada do SCE que se aplicam a realidade construtiva brasileira, foram indicados procedimentos simplificados para o cálculo das áreas e volume. Estes serão descritos no Capítulo V – Resultados e Discussões.

3.3.2.5. Percentual de Abertura da Fachada (PAF)

Como descrito no item 2.5.2.2 do Capítulo II, as fachadas conhecidas como pele de vidro, mesmo demonstrando continuidade da superfície envidraçada em sua porção externa, apresentam internamente um percentual de fechamentos opacos. Tal fato

reforça que, para o levantamento de fachadas, não se deve considerar apenas as superfícies visíveis externamente. Por esta razão, foram estabelecidos dois procedimentos simplificados para a definição do PAF, o primeiro para fachadas com aberturas regulares, e o segundo, para fachadas pele de vidro.

Para a elaboração desses procedimentos simplificados, primeiramente, foi definido um percentual de desconto padrão mínimo para esquadrias. A partir da análise do banco de dados de esquadrias do LABCON e da análise do Anexo II do RTQ-R - Tabela de Desconto de Esquadrias (BRASIL, 2012b), o menor percentual de esquadrias em relação à área total da abertura foi determinado, a fim de caracterizar o pior caso.

Os procedimentos simplificados definidos, portanto, para os dois tipos aberturas nas fachadas, serão explicitados no Capítulo V – Resultados e Discussões.

3.3.2.6. Fator Solar (FS)

Para o levantamento dos dados de FS de vidros, capazes de subsidiar a elaboração de um procedimento simplificado, os vidros foram divididos em 02 grupos: vidros produzidos nas décadas de 1980 e 1990; e a partir do ano 2000.

Para estabelecer o FS dos vidros das décadas de 1980 e 1990, identificados primordialmente como os vidros *float* incolor, coloridos e com películas, foram consultados materiais publicados no período em análise, entre eles, catálogos da 3M e artigos científicos que analisam vidros. Para a análise do FS dos vidros de controle solar, utilizados a partir do ano 2000, por sua vez, foram consultados os catálogos de fabricantes de vidro que comercializam o material no Brasil: Cebrace, Pilkington e Guardian. Além disso, a Tabela V.c do Anexo V do RAC (BRASIL, 2013a) foi consultada.

Os vidros selecionados na análise dos materiais na etapa anterior foram categorizados acordo com os parâmetros: tipo (*float*, laminado, controle solar, entre outros) aparência de cor, espessura e refletividade (não refletivo; baixa refletividade; e alta refletividade).

Foi estabelecida, portanto, uma tabela com um FS padrão para cada vidro categorizado. A tabela dos vidros, assim como o procedimento simplificado para a determinação do FS, serão explicitados no Capítulo V – Resultados e Discussões.

3.3.2.7. Ângulos de Sombreamento: AHS e AVS

A elaboração de um procedimento simplificado para a determinação dos ângulos de sombreamento foi dividida em duas etapas. Na primeira etapa, foi avaliada a

pertinência do cálculo dos ângulos de sombreamento, de acordo com cada ZB, já que, o solicitante da etiqueta pode determinar os ângulos a serem calculados para a avaliação. Para isso, foram realizados testes nos estudos de caso definidos que constaram na avaliação da Envoltória de cada um, segundo o Método Prescritivo do RTQ-C, para todas as ZBs. Nessa avaliação, todas as variáveis da equação para a determinação do IC_{env} foram determinadas de acordo com os dados reais dos edifícios, enquanto os ângulos de sombreamento foram combinados de acordo com uma seleção previamente estabelecida (Quadro 10). O IC_{env} das combinações foi estabelecido e comparado, para as todas as ZB.

Quadro 10 - Combinação dos ângulos de sombreamento

Combinação dos ângulos (em graus)	
AHS	AVS
0	0
0	22,5
22,5	45
45	0
45	22,5
22,5	0
0	45
45	45

Fonte: Elaborado pela autora.

Para segunda etapa da elaboração do procedimento simplificado de determinação dos ângulos de sombreamento, por sua vez, foi definida, assim como as aplicadas pelo SCE, uma escala de sombreamento para as aberturas com três níveis: sem sombreamento; sombreada; e alto sombreamento. Tal escala será descrita no Capítulo V – Resultados e Discussões.

3.4. Avaliação dos Estudos de Caso

Na presente etapa os quatro edifícios determinados como Estudo de Caso são avaliados pelo Método Prescritivo do RTQ-C, primeiramente a partir dos procedimentos simplificados propostos e, em seguida, a partir dos procedimentos vigentes aplicáveis a cada edifício. A ordem de avaliação foi estabelecida a fim de que os resultados encontrados na avaliação pelos procedimentos vigentes não possam influenciar a avaliação pelos procedimentos simplificados. Todas as avaliações foram realizadas por um avaliador, o qual foi o mesmo em todos os edifícios.

3.4.1. Método Prescritivo: Procedimentos Simplificados

Para a realização desta etapa, os procedimentos simplificados foram aplicados para determinar as variáveis para cada edifício selecionado como estudo de caso, de acordo com o Quadro 10.

Para os edifícios I e II, foram estabelecidas todas as variáveis apontadas por este estudo e o IC_{env} . Mesmo os edifícios estando localizados na cidade de Belo Horizonte – MG, pertencente à ZB 03, o IC_{env} foi calculado de acordo com as equações de todas as ZBs. Os pré-requisitos, por sua vez, foram avaliados de acordo apenas com a ZB 03.

A classificação parcial da Envoltória foi determinada a partir da comparação entre o IC_{env} calculado e uma escala numérica dividida entre os intervalos que determinam um nível de classificação do nível de eficiência, como previsto no RTQ-C, para cada ZB.

Para o edifício III, foram determinadas, a partir dos procedimentos simplificados, as variáveis: PAF, FS e ângulos de sombreamento (AVS e AHS). Para o edifício IV, por sua vez, foram determinadas as variáveis PAF e FS.

Para a aplicação dos procedimentos simplificados, foram analisados, previamente, os projetos *as built*, como plantas baixas e fachadas, e ainda realizada a inspeção de cada edifício, a fim de coletar as informações faltantes e realizar algumas etapas de avaliação *in loco*, propostas em alguns dos procedimentos simplificados.

3.4.2. Método Prescritivo: Procedimentos Vigentes

Para a realização desta etapa, os procedimentos vigentes foram aplicados para determinar as variáveis para cada edifício selecionado como estudo de caso, de acordo com o Quadro 10.

Para as avaliações da Envoltória dos Edifícios I e II, foram escolhidos os procedimentos mais adequados a cada edifício, de acordo com as informações disponíveis, entre os procedimentos indicados como nível de precisão I e II. Assim como para os procedimentos simplificados, os dois edifícios foram avaliados de acordo com as equações de todas as ZBs. Os pré-requisitos, por sua vez, foram avaliados apenas em relação à ZB 03.

Os dados necessários para a avaliação desses edifícios foram coletados em documentos como: projetos arquitetônicos; catálogos de fabricantes; memoriais

descritivos e de intervenções; entre outros. Além disso, foram realizadas inspeções dos edifícios e levantamentos fotográficos, para a realização da coleta de informações faltantes em projeto e para a conferência dos dados recebidos.

A transmitância térmica das paredes externas e cobertura foram determinadas a partir de cálculos, de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005). A absorptância a radiação solar das superfícies externas foi determinada a partir das medições realizadas com o espectrômetro ALTA II, de acordo com o Guia de Medição e Cálculo para Refletância e Absortância Solar em Superfícies Opacas (CB3E, 2015). O IC_{env} , por sua vez, foi calculado por meio da equação correspondente a cada ZB. A classificação parcial da Envoltória foi determinada a partir da comparação entre o IC_{env} calculado e uma escala numérica dividida entre os intervalos que determinam um nível de classificação do nível de eficiência, como previsto no RTQ-C.

No caso do Edifício III, as variáveis PAF, FS e ângulos de sombreamento (AVS e AHS) foram determinadas. Para o Edifício IV, por sua vez, foram determinadas as variáveis PAF e FS. Para ambos os edifícios, como já citado, os valores referentes a cada variável foram identificados a partir da análise do Relatório de Inspeção da Edificação Construída.

3.5. Análise Comparativa: Procedimentos Vigentes e Simplificados

Nesta etapa é possível avaliar o impacto das simplificações propostas para a determinação das variáveis relacionadas aos pré-requisitos e às equações da Envoltória, a partir da comparação entre os resultados obtidos com a aplicação dos procedimentos simplificados e aplicação dos procedimentos vigentes.

3.5.1. Variáveis, IC_{env} e Classificação Final

Os pré-requisitos da Envoltória, assim como o IC_{env} , determinados a partir da aplicação dos procedimentos simplificados e dos procedimentos vigentes, foram comparados para os Edifícios I e II. A diferença percentual entre os resultados, para cada variável, foi comparada aos limites de tolerância estabelecidos pelo RAC (BRASIL, 2013a).

O IC_{env} e a classificação final da Envoltória, neste caso, foram comparados em relação à aplicação dos diferentes procedimentos, a fim de determinar se as simplificações interferem na classificação final do edifício. Esta comparação foi realizada de acordo com cada ZB.

No caso dos edifícios III e IV, portanto, a comparação entre os resultados alcançados com a aplicação dos diferentes procedimentos foi realizada, de acordo com as variáveis analisadas em cada caso.

3.5.2. Tempo Aplicado para o Cálculo das Variáveis

Nos edifícios I e II, como citado anteriormente, foram realizados os cálculos para a determinação das variáveis a partir de ambos os procedimentos: simplificados e vigentes.

Para estes edifícios, por sua vez, o tempo gasto para a aplicação de cada procedimento (simplificado e vigente) foram computados e comparados. As variáveis/procedimentos comparados foram: familiarização com o projeto e relatórios; cálculo das áreas; transmitância térmica de paredes e coberturas; absorvência à radiação solar de paredes e coberturas; PAZ; PAF; FS; AVS; AHS; cálculo de IC_{env} e classificação final; e tempo total.

As avaliações realizadas e análises destes resultados serão descritas no Capítulo V - Resultados e Discussões.

4. ESTUDOS DE CASO

Para a aplicação dos procedimentos simplificados determinados neste estudo, foram selecionados quatro edifícios para compor a amostra de estudos de caso. Dois deles estão localizados no campus da UFMG, em Belo Horizonte, e os outros dois edifícios, na área central da mesma cidade.

4.1. Edifício I: Escritórios

O Edifício I está localizado no campus da UFMG e apresenta 974 m² de área construída. A edificação apresenta 03 pavimentos e, a área de projeção da edificação (A_{pe}) é de 324,67 m², fato que a enquadra na avaliação pelas equações de $A_{pe} \leq 500$ m². As principais fachadas estão orientadas a N-S (Figura 08).



Figura 08 – Implantação do Edifício I. Fonte: Google Earth (2011), modificado pela autora.

Os ambientes funcionam primordialmente como escritórios, a edificação é naturalmente ventilada e está em operação desde 2004. Para a realização das análises, segundo o Método Prescritivo do RTQ-C, foram realizados levantamentos de dados no local, assim como no arquivo do Departamento de Projetos Físicos e de Obras (DPFO) da UFMG.

O Edifício I apresenta um formato paralelepípedo, sendo que as fachadas L e O são opacas. A composição das superfícies externas é de alvenaria estrutural de blocos de

concreto. Tais superfícies apresentam aparência externa texturizada, nas cores: branco e laranja médio. As esquadrias são metálicas e o vidro utilizado nas aberturas é do tipo simples e incolor. O sombreamento exercido nas aberturas das fachadas N e S é proporcionado pela própria volumetria do bloco (Figuras 09, 10 e 11).

A cobertura, por sua vez, é composta por telhas metálicas, pintadas na cor branco.



Figura 09 - Fachada S. Fonte: Acervo pessoal.



Figura 10 - Fachada O. Fonte: Acervo pessoal.



Figura 11 - Fachada N. Fonte: Acervo pessoal.

4.2. Edifício II: Educacional

O Edifício II também está localizado no campus da UFMG e apresenta 8.662 m² de área construída. A edificação apresenta quatro pavimentos e a volumetria é dividida em três blocos paralelepípedos. Enquadra-se na avaliação pelas equações de $A_{pe} > 500$ m². As principais fachadas, por sua vez, estão orientadas a NO - SE (Figura 12).

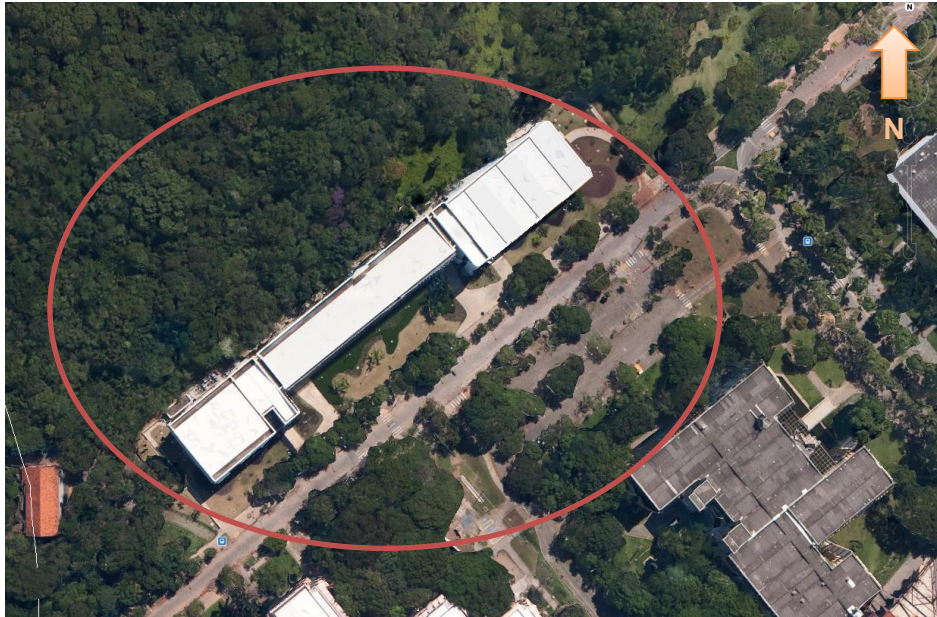


Figura 12 – Implantação do Edifício II. Fonte: Google Earth (2011), modificado pela autora.

A edificação está em operação desde 2011 e os ambientes funcionam primordialmente como salas de aula e de apoio às aulas. A edificação apresenta a maioria de sua área condicionada naturalmente, com exceção aos auditórios, condicionados artificialmente. Para a realização das análises, assim como no Edifício I, foram realizados levantamentos de dados no local, assim como no arquivo do Departamento de Projetos Físicos e de Obras (DPFO) da UFMG.

O edifício apresenta como composição das superfícies externas a estrutura de concreto e a alvenaria de blocos cerâmicos. Tais superfícies apresentam aparência externa rugosa, nas cores: branco, azul e amarelo claro. Algumas superfícies externas apresentam fachadas pele de vidro, enquanto outras, aberturas com esquadrias de alumínio. O vidro utilizado é do tipo laminado fumê nas fachadas pele de vidro e do tipo simples e incolor para as aberturas em esquadrias de alumínio. O sombreamento exercido nas aberturas da fachada SE é proporcionado por brises horizontais. A fachada NO não apresenta fechamentos translúcidos (Figura 13).

A cobertura, por sua vez, é composta por telhas metálicas, pintadas na cor branco.



Figura 13 – Fachada SE do Edifício II. Fonte Acervo pessoal.

4.3. Edifício III: Escritórios

O Edifício III, por sua vez, está localizado na região central da cidade de Belo Horizonte e apresenta 15.452,87 m² de área construída, segundo os dados fornecidos no Relatório de Inspeção da Edificação Construída. A edificação é composta por base e torre, totalizado 25 pavimentos. A volumetria da base é regular e paralelepípedica, enquanto a volumetria da torre é irregular. A fachada principal da edificação está orientada a L (Figura 14).

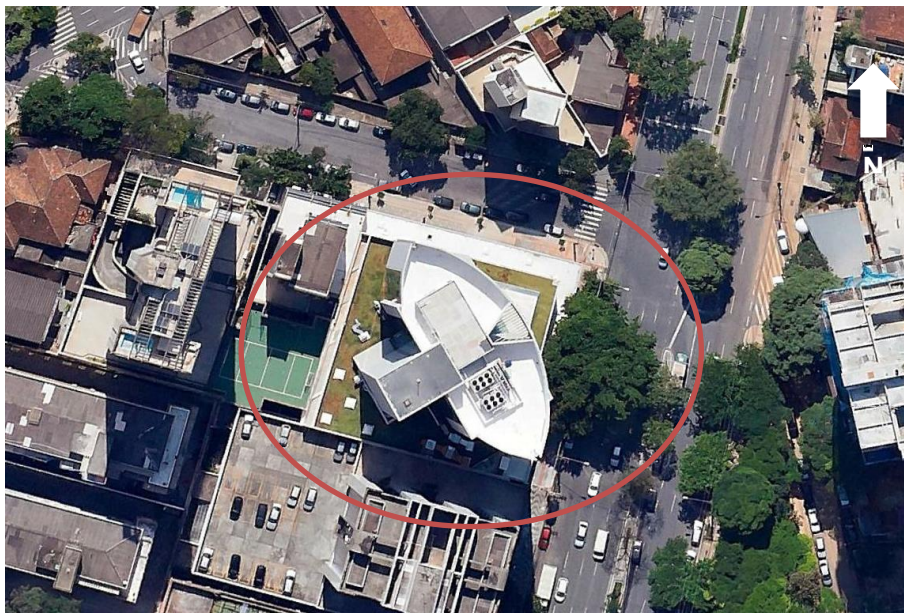


Figura 14 – Implantação do Edifício III. Fonte: Google Earth (2011), modificado pela autora.

A edificação está em operação desde 2010 e os ambientes funcionam primordialmente como escritórios de planta livre. A edificação é condicionada artificialmente em ambientes de permanência prolongada. Para a realização das análises a fim de

viabilizar a aplicação dos procedimentos propostos, foram realizados levantamentos de dados no local, consulta aos arquivos digitais de projeto, assim como entrevistas aos responsáveis pelo projeto e execução da obra.

O edifício apresenta, em sua composição da torre, fachada pele de vidro, com o vidro do tipo laminado azul de 8 mm refletivo. As demais superfícies são revestidas em granito da cor cinza. O sombreamento exercido nas aberturas da torre é proporcionado pela volumetria, enquanto que na base, pela diferenciação da área dos pavimentos, que proporciona beirais (Figura 15).



Figura 15 – Fachada L do Edifício III. Fonte: Administradora do edifício.

4.4. Edifício IV: Escritórios

O Edifício IV, assim como o anterior, está localizado na região central da cidade de Belo Horizonte e apresenta 16.452,16 m² de área construída, segundo o Relatório de Inspeção de Edificação Construída. A edificação é composta por base e torre, totalizado 27 pavimentos. Ambas as volumetrias, base e torre, são regulares e paralelepípedicas. A orientação da fachada principal é Norte (Figura 16).

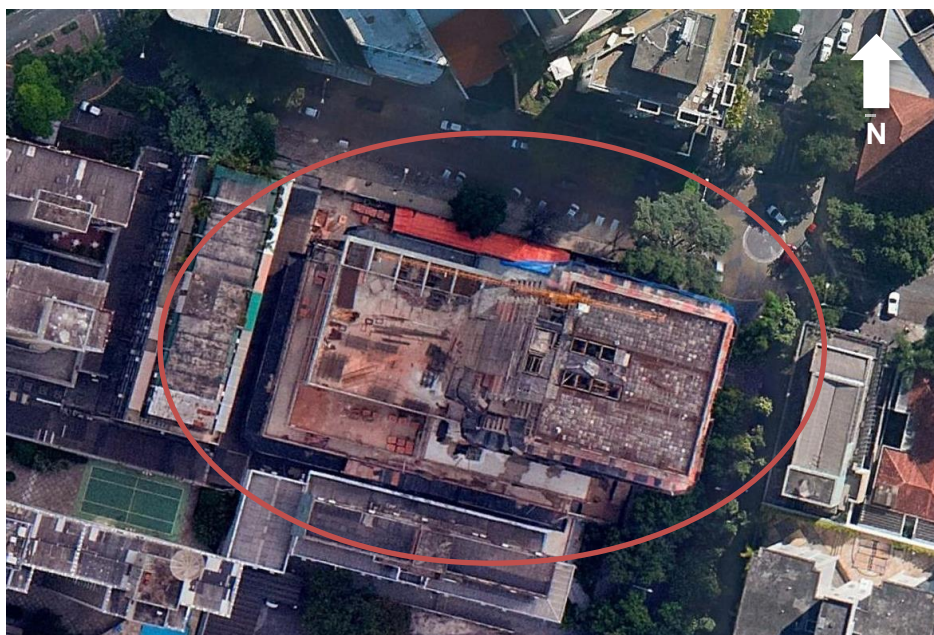


Figura 16 – Implantação do Edifício IV. Fonte: Google Earth (2011), modificado pela autora.

A edificação está em operação desde 2013 e, assim como no caso anterior, os ambientes funcionam primordialmente como escritórios de planta livre. A edificação é condicionada artificialmente em ambientes de permanência prolongada. O edifício apresenta, em sua composição na torre e base, fachada pele de vidro, do tipo laminado azul de 8 mm refletivo (Figura 17).

Para a realização das análises a fim de viabilizar a aplicação dos procedimentos propostos, foram realizados levantamentos de dados no local, consulta aos arquivos digitais de projeto, assim como entrevistas aos responsáveis pelo projeto e execução da obra.



Figura 17 – Fachada N do Edifício IV.
Fonte: Construtora.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O Capítulo V – Resultados e Discussões trata da apresentação dos resultados alcançados neste estudo e a discussão dos impactos destes. Primeiramente, indica os níveis de precisão dos procedimentos vigentes para a determinação de cada variável da Envoltória. Em seguida, os procedimentos simplificados propostos para a determinação das variáveis da Envoltória são explicitados, para que, sejam aplicados aos estudos de caso.

Os resultados alcançados pela aplicação dos procedimentos simplificados, comparado aos procedimentos vigentes, são apresentados. Para os edifícios I e II, por sua vez, também são comparados o tempo de aplicação de cada procedimento, simplificado e vigente.

5.1. Identificação dos Procedimentos Vigentes e o Nível de Precisão dos Dados

Os procedimentos de cálculo e determinação de cada variável da Envoltória, indicados pelo RTQ-C, pelo RAC e pela literatura e, aplicáveis aos dois tipos de inspeção (Projeto e Edificação Construída), foram identificados no Capítulo II – Revisão de Bibliografia. Cada procedimento, por sua vez, foi categorizado a partir da determinação de um nível de precisão (nível 01 – alta precisão e nível 02 – média precisão), referente tanto aos dados levantados quanto aos resultados alcançados.

O Quadro 11 apresenta os procedimentos e os níveis de precisão determinados para os pré-requisitos da Envoltória. Os procedimentos que apresentam maior precisão, nestes casos, são aqueles relacionados às medições *in loco* e à análise de amostras dos materiais utilizados. Para a determinação da transmitância térmica e da absorptância à radiação solar de paredes externas e coberturas, por sua vez, os OIAs aceitam o envio de laudo técnico que comprove o atendimento ao pré-requisito, procedimento categorizado como média precisão (nível 02).

O Quadro 12, por sua vez, indica os procedimentos e níveis de precisão para a determinação das variáveis da equação do IC_{env} . Observa-se que, os procedimentos que apresentam maior nível de precisão, estão relacionados aos levantamentos dos dados *as built*, já que os edifícios podem apresentar alterações em relação ao projeto original, ocorridas durante a fase de execução da obra.

Quadro 11 - Procedimentos identificados para avaliação dos pré-requisitos da Envoltória

Sistema	Variável	Procedimentos de determinação/fonte de dados		Nível de Precisão
Pré-requisitos da Envoltória	U paredes e cobertura	Composição e cálculo pela NBR 15220-2	Avaliador conhece a composição e a espessura do elemento, seja por meio do projeto ou memorial, ou por retirada de amostra. O cálculo é realizado de acordo com a NBR 15220/2.	01
		Laudo profissional	Avaliador tem a declaração de um profissional da área de materiais de que a transmitância térmica do elemento é maior ou menor que o limite estabelecido.	02
		Avaliação visual	Avaliador conhece a espessura e reconhece visualmente a composição do elemento. O cálculo é realizado de acordo com a NBR 15220/2.	02
	α paredes e cobertura	Medição <i>in loco</i>	Medição é realizada <i>in loco</i> utilizando-se de aparelhos como o espectrômetro portátil Alta II ou métodos normalizados.	01
		Laudo profissional	Avaliador tem a declaração de um profissional da área de materiais de que a absorvância térmica do elemento é maior ou menor que o limite estabelecido.	02
		Valores Tabelados	Avaliador conhece a cor e tipo de revestimento e os compara com cores presentes em tabelas base, como a Tabela V.b do Anexo V do RAC (BRASIL, 2013a).	02
	Iluminação zenital	Projeto completo	Avaliador tem acesso ao projeto para o cálculo do PAZ e às especificações do tipo de vidro utilizado.	01

Fonte dos dados: RTQ-C (BRASIL, 2010a). Elaborado pela autora.

Quadro 12 - Procedimentos identificados para avaliação do IC_{env}

Sistema	Variável	Método de análise		Nível de Precisão
Classificação Geral da Envoltória	Áreas	Projeto completo	Avaliador tem projeto arquitetônico atualizado	01
		Medição	Avaliador faz medições <i>in loco</i>	01
		Projeto original	Avaliador tem projeto arquitetônico do período de construção e faz levantamento <i>in loco</i> para conferência e atualização de dados.	01
	FS	Dados do fabricante	Avaliador tem os dados do vidro e o FS fornecido pelo fabricante	01
		Consulta aos catálogos	Avaliador tem os dados do vidro e busca em catálogos de fabricantes modelo que mais se assemelha.	02
	AVS e AHS	Projeto completo	Avaliador tem projeto arquitetônico atualizado.	01
		Medição	Avaliador faz medições <i>in loco</i> .	01
		Projeto original	Avaliador tem projeto arquitetônico do período de construção e faz levantamento <i>in loco</i> para conferência e atualização de dados.	02
	PAF	Projeto completo	Avaliador tem quadro de esquadrias completo e as fachadas.	01
		Projeto original	Avaliador tem projeto arquitetônico do período de construção e faz levantamento <i>in loco</i> para conferência e atualização de dados das fachadas e esquadrias.	02
		Desconto de Esquadria	Avaliador utiliza o desconto de esquadrias de acordo com a recomendação do RAC (BRASIL, 2013b), considerando o Anexo II do RTQ-C.	02

Fonte dos dados: RTQ-C (BRASIL, 2010a). Elaborado pela autora.

5.2. Procedimentos Simplificados de Determinação das Variáveis

5.2.1. Transmitância Térmica de Paredes Externas (U_{par})

O RTQ-C, como citado anteriormente, estabelece limites para a transmitância térmica das paredes externas, de acordo com a ZB na qual a edificação está inserida e o nível de eficiência pretendido. Para a transmitância térmica de paredes externas, por sua vez, esses limites são: 1,0 W/m²K; 2,0 W/m²K; 2,5 W/m²K e 3,7 W/m²K (BRASIL, 2010a). O RAC (BRASIL, 2013a) ainda estabelece que haja uma tolerância de 10% em relação ao valor da transmitância, no caso de não conformidade entre os dados enviados pelo solicitante da etiqueta e os dados avaliados pelo OIA.

Neste sentido, foram estabelecidos novos limites para U_{par} , considerando os quatro limites estabelecidos pelo regulamento, acrescidos em 10%, e ainda, apresentando apenas uma casa decimal (Tabela 07). Essa simplificação, por sua vez, deve ser incorporada somente para a inspeção de edificações contruídas, e não utilizada como uma referência de projeto, para o qual devem ser obedecidos os limites indicados pelo regulamento.

Tabela 07 – Limites para Transmitância Térmica de Paredes Externas, acrescidos em 10%

Zonas Bioclimáticas	U_{par} A (W/m ² K)	U_{par} B (W/m ² K)	U_{par} C e D (W/m ² K)
ZB 1 e 2	1,1	2,2	4,1
ZB 3 a 6	4,1		
ZB 7 e 8	2,8 W/m ² K para $C_T < 80\text{kJ/m}^2\text{K}$		
	4,1 W/m ² K para $C_T < 80\text{kJ/m}^2\text{K}$		

Fonte: Elaborado pela autora.

A partir dos novos limites para os valores de U_{par} , foi estabelecida a Tabela de Composições para Paredes Externas (Tabela 08), a qual apresenta 36 composições, categorizadas primordialmente de acordo com o elemento central utilizado (tipo de parede). Nesta tabela, é possível identificar se as composições atendem, ou não, ao pré-requisito.

O procedimento simplificado de determinação da U_{par} consta, por sua vez, dos seguintes passos:

- Estabelecer a ZB em que a edificações se insere e os limites estabelecidos para esta variável;
- Identificar, a partir de entrevistas, inspeções ou projeto *as built*, os tipos de

paredes externas, e estabelecer as seguintes informações sobre cada diferente composição: elemento central da parede, revestimentos interno e externo, existência de câmara de ar e isolamento;

- Identificar, a partir da inspeção, a espessura total da composição (Figura 18).
- Identificar na Tabela de Composições para Paredes Externas se a composição atende, ou não ao limite estabelecido.
- Caso seja identificada mais de uma composição, e, uma ou mais delas não atendam aos limites, deve-se realizar a ponderação da transmitância pela área ocupada por cada uma delas, como indicado no RTQ-C.



Figura 18 – Medição da espessura da parede externa do Edifício I.

Fonte: Acervo pessoal.

Para situações em que se tenha estrutura de concreto, assim como realizado pelo SCE de Portugal, é indicada a aplicação de um fator de majoração de 1,35 em relação à transmitância estabelecida para a composição.

No caso da ZB 03, por sua vez, quando pilares e vigas apresentam mais de 18 cm de espessura, a estrutura passa para o limite estabelecido de 4,1 W/m²K. Para isso, sugere-se, para aplicação do procedimento nesta ZB, realizar durante a inspeção a medição de três pilares e três vigas para estabelecer uma média de espessura destes elementos. Caso esta espessura média ultrapasse o valor de 18 cm, para a ZB 03, não é necessário aplicar o fator de majoração.

Tabela 08 – Tabela de Composições para Paredes Externas

Tabela de Composições para Paredes Externas												
Tipo de Parede	Composição	Espessura	Revestimento interno	Revestimento Externo	Câmara de ar	Isolamento	Outros	U (W/m²K)	Limites (W/m²K)			
									1,1	2,2	2,8	4,1
Concreto maciço	1	10 cm	-	-	-	-	-	4,4	Não atende	Não atende	Não se aplica	Não atende
	2	18 cm	-	-	-	-	-	3,7	Não atende	Não atende	Não se aplica	Atende
	3	50 cm	-	-	-	-	-	2,1	Não atende	Atende	Não se aplica	Atende
	4	17 cm	Argamassa	Argamassa	-	-	-	3,3	Não atende	Não atende	Não se aplica	Atende
	5	10 cm	-	-	-	-	Vidro laminado (10mm)	1,1	Atende	Atende	Não se aplica	Atende
	6	25 cm	-	-	>5cm	-	Vidro laminado (10mm)	0,9	Atende	Atende	Não se aplica	Atende
Bloco cerâmico maciço	7	15 cm	Argamassa	Argamassa	-	-	-	3,1	Não atende	Não atende	Não se aplica	Atende
	8	28 cm	-	-	-	-	-	2,2	Não atende	Atende	Não se aplica	Atende
Bloco de concreto furado	9	9 - 14 cm	-	-	-	-	-	3,0	Não atende	Não atende	Não se aplica	Atende
	10	15 - 19 cm	Argamassa ou gesso	Argamassa	-	-	-	2,8	Não atende	Não atende	Não se aplica	Atende
	11	15 - 19 cm	Argamassa	Argamassa	>5cm	-	Placa de alumínio	0,7	Atende	Atende	Não se aplica	Atende
	12	28 cm	Argamassa	Argamassa	-	Poliestireno	Placa de alumínio	0,3	Atende	Atende	Não se aplica	Atende
	13	28 cm	Argamassa	Argamassa	>5cm	-	Placa melamínica	1,8	Não atende	Atende	Não se aplica	Atende
	14	29 cm	Argamassa	Argamassa	-	Poliestireno	Placa melamínica	0,4	Atende	Atende	Não se aplica	Atende
	15	19 - 23 cm	Argamassa	Argamassa	-	-	Granito	2,6	Não atende	Não atende	Não se aplica	Atende
Bloco cerâmico furado	16	14 cm	-	-	-	-	-	2,7	Não atende	Não atende	Atende	Atende
	17	19 cm	Argamassa ou gesso	Argamassa	-	-	-	2,1	Não atende	Atende	Não se aplica	Atende
	18	20 cm	Argamassa	Argamassa	>5cm	-	Placa de alumínio	0,7	Atende	Atende	Não se aplica	Atende
	19	28 cm	Argamassa	Argamassa	-	Poliestireno	Placa de alumínio	0,3	Atende	Atende	Não se aplica	Atende

Bloco cerâmico furado	20	20 cm	Argamassa	Argamassa	>5cm	-	Placa melamínica	1,6	Não atende	Atende	Não se aplica	Atende
	22	28 cm	Argamassa	Argamassa	-	Poliestireno	Placa melamínica	0,4	Atende	Atende	Não se aplica	Atende
	23	30 cm	-	-	>5cm	-	Vidro incolor (8 mm)	1,5	Não atende	Atende	Não se aplica	Atende
	24	30 cm	-	-	>5cm	-	Vidro colorido (8mm)	1,5	Não atende	Atende	Não se aplica	Atende
	25	15 cm	-	-	-	-	Vidro incolor (8 mm)	1,7	Não atende	Atende	Não se aplica	Atende
	26	15 cm	-	-	-	-	Vidro laminado (10mm)	1,4	Não atende	Atende	Não se aplica	Atende
	27	30 cm	-	-	>5cm	-	Vidro laminado (10 cm)	1,3	Não atende	Atende	Não se aplica	Atende
	28	14 cm	-	-	-	-	Vidro colorido (8mm)	1,7	Não atende	Atende	Não se aplica	Atende
	29	14 cm	Argamassa	Argamassa	-	-	Granito	2,4	Não atende	Não atende	Não se aplica	Atende
	30	17 cm	-	Argamassa	-	-	Concreto externo	1,8	Não atende	Atende	Não se aplica	Atende
Drywall (gesso e placa cimentícia)	31	5 - 8 cm	-	-	>2cm	-	-	2,5	Não atende	Não atende	Atende	Atende
	32	5 - 8 cm	-	-	-	Lã de Rocha	-	0,5	Atende	Atende	Atende	Atende
Parede dupla (bloco de concreto ou cerâmico)	33	27 - 37 cm	Argamassa	Argamassa	2 a 5cm	-	-	1,3	Não atende	Atende	Não se aplica	Atende
	34	27 - 37 cm	Argamassa	Argamassa	>5cm	-	-	1,0	Atende	Atende	Não se aplica	Atende
	35	27 - 37 cm	Argamassa	Argamassa	-	-	-	1,4	Não atende	Atende	Não se aplica	Atende
	36	27 - 37 cm	Argamassa	Argamassa	-	Lã de Rocha	-	0,8	Atende	Atende	Não se aplica	Atende

Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com a análise da Tabela 08, portanto, para o limite de $4,1 \text{ W/m}^2\text{K}$, o menos restritivo, a combinação indicada a qual não atenderia ao pré-requisito é a das paredes maciças de concreto, com espessura menor que 18 cm. Todas as outras combinações indicadas atendem ao pré-requisito. Este limite é aplicado ao nível A para edificações pertencentes às ZBs 03 a 06, e no caso específico do valor de C_T para as ZBs 07 e 08. Para atender ao limite de $2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, aplicado às ZBs 07 e 08, no caso de $C_T \leq 80 \text{ kJ/m}^2\text{K}$, as paredes compostas por *drywall* e bloco cerâmico furado sem revestimento podem atender ao pré-requisito.

No caso das ZBs 01 e 02, os limites são os mais restritivos ($1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ para nível A e $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ para nível B), já que se trata de cidades de clima frio, nas quais as trocas térmicas com o ambiente externo não são desejáveis.

Para o limite de $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$, as paredes compostas por blocos cerâmicos com revestimento e blocos de concreto revestidos e acompanhados de material isolante e/ou placas de alumínio atendem ao pré-requisito. No caso do limite de $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$, paredes revestidas compostas por blocos furados de concreto ou blocos furados cerâmicos devem apresentar a combinação com materiais de isolamento para atenderem ao pré-requisito.

5.2.2. Transmitância Térmica de Coberturas (U_{cob})

O RTQ-C, assim como no caso da U_{par} , estabelece limites para a transmitância térmica das coberturas, de acordo com a ZB na qual a edificação está inserida e o nível de eficiência pretendido. Os limites estão relacionados, neste caso, ao ambiente em contato direto com a cobertura, se condicionado artificialmente (AC), ou não condicionado (ANC). Para a U_{cob} , por sua vez, esses limites são: $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$; $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$; $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ (BRASIL, 2010a). O RAC ainda estabelece que haja uma tolerância de 10% em relação ao valor da transmitância, no caso de não conformidade entre os dados enviados pelo solicitante da etiqueta e os dados avaliados pelo OIA.

Neste sentido, foram estabelecidos novos limites para U_{cob} , considerando os quatro limites estabelecidos pelo regulamento, acrescidos em 10%, e ainda, apresentando apenas uma casa decimal (Tabela 09).

Tabela 09 – Limites para Transmitância Térmica de Coberturas, acrescidos em 10%

Zonas Bioclimáticas	U _{cob} A (W/m ² K)		U _{cob} B (W/m ² K)		U _{cob} C e D (W/m ² K)	
	AC	ANC	AC	ANC	AC	ANC
ZB 01 e 02	0,6	1,1	1,1	1,7	2,2	
ZB 03 a 08	1,1	2,2	1,7	2,2		

Fonte: Elaborado pela autora.

A partir dos novos limites estabelecidos para cada ZB, de acordo com o tipo de condicionamento, foi estabelecida a Tabela de Composições para Coberturas (Tabela 10). Esta Tabela indica 40 composições para coberturas, categorizadas primordialmente de acordo com o tipo de laje utilizada. Nesta tabela, é possível identificar se as composições atendem, ou não, ao pré-requisito.

O procedimento simplificado de determinação da U_{cob} consta, por sua vez, dos seguintes passos:

- Estabelecer a ZB em que a edificações se insere e os limites estabelecidos para esta variável;
- Identificar *in loco*, pelo projeto *as built* ou por entrevistas, os diferentes tipos de cobertura da edificação em análise, seguida das seguintes informações: tipo de laje, tipo de telhamento, forro, câmara de ar, isolamento, e, quando possível, a espessura total da composição;
- Determinar o tipo de condicionamento de ar dos ambientes em contato com a(s) cobertura(s) (natural ou artificial);
- Identificar na Tabela de Composições para Coberturas se a composição atende, ou não ao limite estabelecido.
- Caso seja identificada mais de uma composição, e, uma ou mais delas não atendam aos limites estabelecidos, deve-se realizar a ponderação da transmitância pela área ocupada por cada uma delas, como indicado no RTQ-C.

Tabela 10 - Tabela de Composições para Coberturas

Tabela de Composições para Coberturas										
Tipo de Laje	Composição	Telhamento	Forro	Câmara de ar	Outros	U (W/m²K)	Limites (W/m²K)			
							0.5	1.0	1.5	2.0
Pré-moldada (com EPS ou cerâmica) (12cm)	1	-	-	-	-	2,5	Não atende	Não atende	Não atende	Não atende
	2	Telha cerâmica ou fibrocimento	-	>5cm	-	1,6	Não atende	Não atende	Atende	Atende
	3	Telha metálica simples	-	>5cm	-	1,7	Não atende	Não atende	Atende	Atende
	4	Telha metálica com isolamento	-	>5cm	-	0,6	Atende	Atende	Atende	Atende
	5	Telhado jardim (etel = 10 cm)	-	-	-	1,9	Não atende	Não atende	Não atende	Atende
	6	Telhado jardim (etel = 40 cm)	-	-	-	0,9	Não atende	Atende	Atende	Atende
Concreto (10 cm)	7	-	-	-	-	3,7	Não atende	Não atende	Não atende	Não atende
	8	-	-	-	manta e argamassa	2,0	Não atende	Não atende	Não atende	Atende
	9	-	lã de vidro	>5cm	-	0,8	Não atende	Atende	Atende	Atende
	10	-	lã de vidro	>5cm	-	0,4	Atende	Atende	Atende	Atende
	11	-	gesso	>5cm	-	1,2	Não atende	Não atende	Atende	Atende
	12	Telha cerâmica ou fibrocimento	-	>5cm	-	2,1	Não atende	Não atende	Não atende	Atende
	13	Telha cerâmica ou fibrocimento	lã de vidro	>5cm	-	0,8	Não atende	Atende	Atende	Atende
	14	Telha metálica simples	-	>5cm	-	1,6	Não atende	Não atende	Atende	Atende
	15	Telha metálica com isolamento	-	>5cm	-	0,6	Atende	Atende	Atende	Atende
	16	Telhado jardim (etel = 10 cm)	-	-	-	2,2	Não atende	Não atende	Não atende	Atende
17	Telhado jardim (etel = 40 cm)	-	-	-	0,8	Não atende	Atende	Atende	Atende	
Concreto (18cm)	18	-	-	-	Piso elevado (10 cm)	0,9	Não atende	Atende	Atende	Atende
	19	-	lã de vidro	>5cm	-	0,7	Não atende	Atende	Atende	Atende
Concreto (25 cm)	20	Telhado jardim (60 cm)	-	-	-	0,6	Atende	Atende	Atende	Atende
Laje nervurada (39 cm)	21	-	gesso (e=1cm)	Vazios da laje	-	2,2	Não atende	Não atende	Não atende	Atende

Laje nervurada (39 cm)	22	-	gesso	>5cm	Piso elevado (9 cm)	1,3	Não atende	Não atende	Atende	Atende
	23	-	fibra mineral	>5cm	Piso elevado	0,8	Não atende	Atende	Atende	Atende
	24	-	lã de vidro	>5cm	-	0,8	Não atende	Atende	Atende	Atende
	25	-	lã de vidro	>5cm	Piso elevado (24 cm)	0,7	Não atende	Atende	Atende	Atende
	26	-	manta de poliéster	> 5 cm	-	0,6	Atende	Atende	Atende	Atende
	27	-	-	-	Isolamento em poliestireno	1,8	Não atende	Não atende	Não atende	Atende
	28	Telha de fibrocimento	gesso (e=1cm)	>5cm	-	1,5	Não atende	Não atende	Atende	Atende
	29	Telha de fibrocimento	-	>5cm	Isolamento em poliestireno	1,3	Não atende	Não atende	Atende	Atende
	30	Telha metálica simples	gesso	> 5 cm	-	0,5	Atende	Atende	Atende	Atende
	31	Telhado jardim (20 cm)	gesso	>5cm	-	1,1	Não atende	Atende	Atende	Atende
	32	Telhado jardim (20 cm)	lã de vidro	>5cm	-	0,7	Não atende	Atende	Atende	Atende
	33	Telhado jardim (20 cm)	manta de poliéster	>5cm	-	0,5	Atende	Atende	Atende	Atende
	Laje Protendida	34	-	-	-	-	2,5	Não atende	Não atende	Não atende
35		Telha de fibrocimento	-	>5cm	-	1,8	Não atende	Não atende	Não atende	Atende
-	36	Telha cerâmica ou fibrocimento	concreto (3cm)	>5cm	-	2,2	Não atende	Não atende	Não atende	Atende
	37	Telha cerâmica ou fibrocimento	madeira	>5cm	-	2,0	Não atende	Não atende	Não atende	Atende
	38	Telha cerâmica ou fibrocimento	gesso (e=3cm)	>5cm	-	2,0	Não atende	Não atende	Não atende	Atende
	39	Telha cerâmica ou fibrocimento	PVC	>5cm	-	1,8	Não atende	Não atende	Não atende	Atende
	40	Telha metálica com isolamento	-	-	Isolamento em poliuretano	0,6	Atende	Atende	Atende	Atende

Fonte: Elaborado pela autora.

Os valores para a transmitância térmica adotados na Tabela de Composições para Coberturas apresentam uma casa decimal, para delimitar de maneira mais simples o atendimento aos limites estabelecidos. Por sua vez, como o RAC admite uma margem de erro de 10% no cálculo da transmitância térmica, e, para estabelecer o atendimento ao pré-requisito, esta margem foi incorporada. Ou seja, foi considerada como uma composição que atende ao pré-requisito aquela que apresentou o valor de transmitância até 10% maior do que o limite estabelecido.

Para o limite de 2,0 W/m²K, o menos restritivo, as combinações indicadas às quais não atenderiam ao pré-requisito são: lajes sem telhamento, com telhamento sem forro e lajes nervuradas e protendidas sem isolamento. Todas as outras combinações indicadas atenderiam ao pré-requisito. Este limite é aplicado a edificações pertencentes às ZBs 03 a 08 para ambientes não condicionados, para atingir o nível A. Para atender ao limite de 1,5 W/m²K, as lajes com telhado verde ($e_{\min} = 40$ cm), lajes com telhas metálicas com isolamento e lajes nervuradas com telhamento e isolamento atendem ao pré-requisito.

Os limites mais restritivos aplicam-se aos ambientes condicionados. Para o limite de 1,0 W/m²K, as lajes de concreto e pré-moldadas com telhas metálicas com isolamento são as combinações que atendem ao pré-requisito.

No caso do limite de 0,5 W/m²K, estabelecido para atingir o nível A nas ZBs 01 e 02 para ambientes condicionados, apenas algumas combinações específicas atendem ao pré-requisito, como telhado jardim com espessura igual ou superior a 60 cm e combinações com isolamento térmico.

5.2.3. Absortância à Radiação Solar (α)

Para propor o procedimento simplificado para determinar a absortância à radiação solar foram estabelecidas duas tabelas para comparação, de acordo com o material utilizado para o revestimento externo: tintas (Tabela 11) e outras superfícies (Tabela 12). O único limite estabelecido pelo RTQ-C para a absortância é de 50%, e se aplica, para as ZBs 02 a 08, ao nível “B” de eficiência para as paredes externas, e, nível “C” para coberturas.

Para a construção da Tabela da Absortância de Tintas (Tabela 11), foi utilizada como base a Tabela V- b do Anexo V do RAC (BRASIL, 2013a), com os dados de absortância medidos para 60 tintas comercializadas no Brasil (acrílica fosca, acrílica semi-brilho e látex PVA fosca), aplicadas em superfícies lisas. Foi indicada a

absortância média de cada cor identificada.

No caso das superfícies rugosas pintadas, por sua vez, aos valores de absortância indicados para as superfícies lisas, foi aplicado um fator de majoração, estabelecido a partir da análise do Quadro 13, o qual representa os valores de absortância de tintas aplicadas em superfícies com diferentes rugosidades. Os fatores de majoração são relativos a cada categoria de cor em que a tinta se enquadra: Brancos, Amarelos, Vermelhos e marrons, Azuis e verdes e Cinzas e Pretos. Foi considerado o aumento da absortância total da superfície rugosa (0,074 mm) em relação à superfície lisa. Como na amostra estudada por Dornelles (2008) não havia amostras das duas categorias, Vermelhos e marrons e Cinzas e pretos, foram utilizados para estes casos, respectivamente, os fatores de majoração da categoria dos Amarelos e dos Azuis e verdes.

Quadro 13 - Dados de absortância de superfícies rugosas

Tinta aplicada sobre as amostras	Absortâncias totais (%), em função da rugosidade superficial.				
	Rugosidade (Ra, em mm) das amostras apoiadas sobre o sensor				
Nome comercial	Lisa (0,003)	0,074	0,108	0,195	0,338
01-Amarelo Antigo	56,1	63,3	63,1	64,5	65,8
04-Azul	66,8	77,1	79,2	78,0	79,8
12-Marfim	43,0	52,1	51,7	53,7	55,3
39-Branco	18,7	32,8	34,2	38,4	45,5

Fonte: Dornelles (2008).

Os fatores de majoração indicados para cada categoria de cor foram:

- Brancos (representado pela tinta n° 39 – Branco) – 1,75;
- Amarelos (representado pela tinta n° 01 – Amarelo antigo) – 1,12;
- Vermelhos e Marrons (representado pela tinta n° 01 – Amarelo antigo) – 1,12;
- Azuis e Verdes (representado pela tinta n° 04 – Azul) – 1,06;
- Pretos e Cinzas (representado pela tinta n° 04 – Azul) – 1,06.

A Tabela 11 ainda foi dividida de acordo com a realização de manutenção das superfícies. Para este estudo, é considerada uma pintura envelhecida aquela que não sofreu manutenção no período de 05 anos (período de validade da ENCE). Para isso, foi utilizada a equação de Levinson *et al.* (2002) (Equação 01, indicada no Capítulo II) para estabelecer a refletância envelhecida, e, em seguida a absortância envelhecida.

Tabela 11 – Tabela da Absortância de tintas

Categoria	Tinta: Nome Comercial	Absortância para Pintura Nova		Absortância para Pintura Envelhecida	
		Lisa (%)	Rugosa (%)	Lisa (%)	Rugosa (%)
BRANCOS	Branco Neve	13,2	23,1	33,2	40,2
	Branco	13,5	23,5	33,4	40,5
	Bianco Sereno	26,6	46,6	42,6	56,6
	Branco Gelo	33,0	57,8	47,1	64,5
AMARELOS	Vanila	25,8	28,9	42,1	44,2
	Amarelo Canário	27,3	30,5	43,1	45,4
	Pérola	27,5	30,8	43,3	45,6
	Marfim	29,7	33,2	44,8	47,3
	Palha	31,7	35,5	46,2	48,8
	Mel	41,8	46,8	53,3	56,8
	Amarelo Antigo	50,6	56,6	59,4	63,6
	Marrocos	54,7	61,3	62,3	66,9
	Amarelo Terra	64,8	72,5	69,3	74,8
VERMELHOS E MARRONS	Pêssego	36,8	41,2	49,7	52,8
	Areia	39,9	44,7	51,9	55,3
	Laranja	39,9	44,7	51,9	55,3
	Flamingo	47,0	52,6	56,9	60,8
	Camurça	55,5	62,1	62,8	67,5
	Vermelho Cardinal	63,3	70,9	68,3	73,6
	Vermelho	64,2	71,9	68,9	74,3
	Cerâmica	65,3	73,1	69,7	75,2
	Crepúsculo	66,0	73,9	70,2	75,7
	Terracota	66,5	74,5	70,6	76,1
	Telha	70,2	78,6	73,1	79,0
AZUIS E VERDES	Tabaco	78,1	87,5	78,7	85,2
	Erva Doce	21,9	23,2	39,3	40,2
	Azul Angra	32,3	34,2	46,6	48,0
	Azul Bali	48,9	51,8	58,2	60,3
	Alecrim	64,0	67,8	68,8	71,5
	Azul Imperial	66,9	70,9	70,8	73,6
	Verde Quadra	75,5	80,0	76,9	80,0
	Azul Profundo	76,0	80,6	77,2	80,4
	Azul	76,6	81,2	77,6	80,8
CINZAS E PRETOS	Verde Musgo	79,8	84,6	79,9	83,2
	Jade	52,3	55,4	60,6	62,8
	Cinza BR	61,1	64,8	66,8	69,3
	Concreto	72,5	76,9	74,8	77,8
	Cinza	86,4	91,6	84,5	88,1
	Preto	97,3	100,0	92,1	96,2

Fonte dos dados: Tabela V.b – Anexo do RAC (BRASIL, 2013a). Elaborado pela autora.

Finalmente, para os quatro valores de absorvância identificados para cada cor (lisa e nova; lisa e antiga; rugosa e nova; rugosa e antiga) foi estabelecido se a cor atende (indicado pela cor verde) ou não atende (indicado na cor vermelha) ao pré-requisito, considerando que o RTQ-C estabelece 15% de margem de tolerância para a absorvância à radiação solar. O novo limite de tolerância, por sua vez, foi estabelecido em 57,5%. O ANEXO I apresenta as amostras utilizadas como base.

Para as outras superfícies, por sua vez, foram selecionadas aquelas mais comuns na construção civil e considerada a média dos dados fornecidos pela NBR 15220 (ABNT, 2005) e o RTQ-C (BRASIL, 2010a). Foi estabelecido o fator de manutenção nestas superfícies e determinado, portanto, se atendem ou não ao pré-requisito, quando este se aplica.

Tabela 12 – Tabela da Absorvância de Superfícies

Tipo de revestimento	Superfície nova (%)	Superfície envelhecida (%)
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	5,0	-
Chapa de alumínio (oxidada)	-	15,0
Chapa de aço galvanizada	25,0	28,8
Caiçação nova	13,0	15,0
Concreto aparente	70,0	80,5
Telha de barro ESMALTADAS	75,0	86,3
Telha de barro NÃO ESMALTADAS	25,0	28,8
Tijolo aparente	70,0	80,5
Reboco claro	40,0	46,0
Revestimento asfáltico	90,0	100
Vidro monolítico incolor	15,0	17,3
Vidro monolítico colorido	60,0	69,0
Vidro metalizado	60,0	69,0
Telhado Jardim	25,0	28,8

Fonte dos dados: NBR 15220 (ABNT, 2005). Elaborado pela autora.

O procedimento simplificado estabelecido, por sua vez, deve ser aplicado *in loco* e é composto das seguintes etapas:

- Identificar o material aplicado para revestimento externo das superfícies (tintas, granito, alumínio, entre outros);
- Caso o revestimento externo seja de tinta, as cores devem ser identificadas a partir da Tabela 11, proposta neste estudo. A comparação entre a cor na tabela e a cor aplicada a edificação deve ser feita *in loco*. A comparação deve ser feita em 3 pontos onde aplicada uma mesma cor de tinta e, caso apresentem diferentes tonalidades na tabela, deve-se optar por aquela de maior

absortância para os cálculos;

- Deve-se estabelecer se a superfície é lisa ou rugosa e se passou ou não por processo de manutenção nos últimos 5 anos;
- A partir dos dados levantados em campo, ainda na Tabela 15 identificar se superfície avaliada atende ou não ao pré-requisito;
- No caso de superfícies que não sejam tintas, estabelecer a data da última manutenção. Caso a manutenção tenha sido realizada há mais de 5 anos, deve-se considerar o fator de manutenção para a determinação desta superfície (Tabela 12);
- Caso alguma das superfícies identificadas ultrapasse o limite estabelecido pelo pré-requisito, deve-se realizar a ponderação pela área construída, levando em consideração o valor tabelado para a absortância.

A inspeção da cobertura da edificação é necessária para que a avaliação da superfície seja realizada, principalmente no que tange à sua manutenção.

5.2.4. Áreas

Para a aplicação dos procedimentos simplificados para o cálculo das áreas (A_{pe} , A_{pcob} , A_{tot} , V_{tot} , A_{env}), por sua vez, é indicado que o avaliador tenha o projeto *as built* da edificação, referente as plantas baixas dos diferentes pavimentos da edificação, as fachadas e a cobertura.

Os procedimentos indicados se relacionam com aqueles indicados pelo SCE, em Portugal, e estão divididos de acordo com cada área a ser calculada. Como procedimentos geral a ser adotado, sugere-se ignorar as reentrâncias inferiores a 1 m para os cálculos (Figura 19).

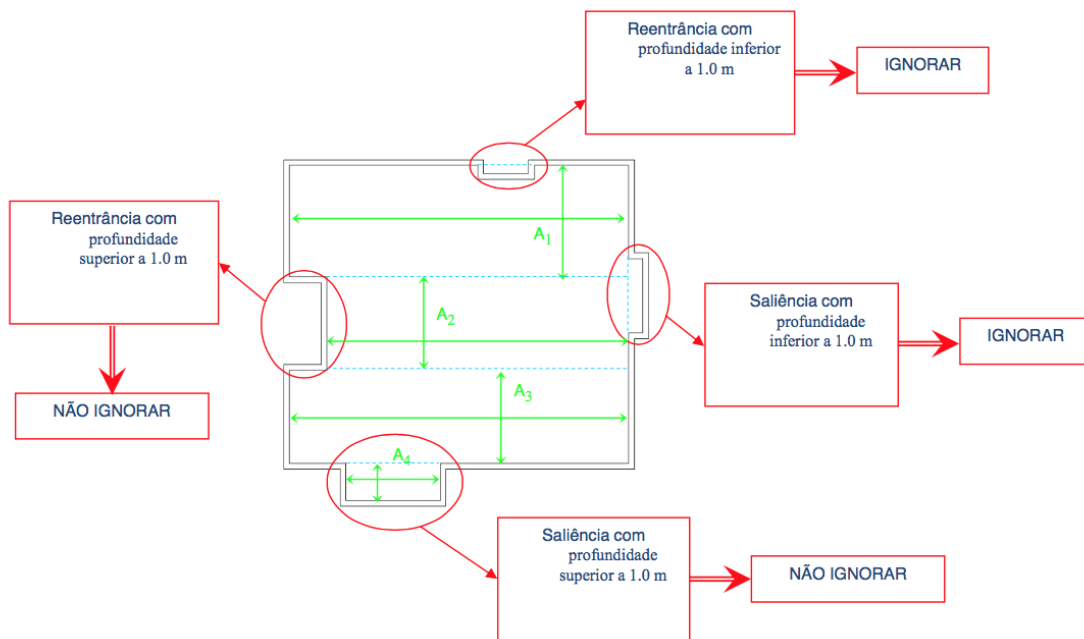


Figura 19 - Considerações sobre reentrâncias e saliências. Fonte: ADENE (2013).

Para estabelecer a altura da edificação, utilizada para o cálculo do volume, quando de planta regular, deve-se estabelecer a altura pela análise da fachada e descontar da altura total, a altura de possíveis platibandas, identificadas durante a inspeção da cobertura. No caso das edificações que apresentam pavimentos com diferentes áreas, deve-se estabelecer o pé-direito dos pavimentos diferentes em relação à área que ocupam para o cálculo do volume.

Os procedimentos simplificados relacionados ao cálculo de cada área são:

- A_{pe} : área do primeiro pavimento, caso todos sejam iguais. Caso visivelmente diferentes, agrupar os pavimentos semelhantes e estabelecer a área simplificada destes, por fim, indicar a média das áreas;
- A_{tot} : Área do primeiro pavimento multiplicada pelos demais, caso todos sejam iguais. Caso visivelmente diferentes, agrupar os pavimentos semelhantes e estabelecer a área simplificada destes, por fim, somar todas as áreas.
- A_{pcob} : Indicar a área de um pavimento representativo da projeção da cobertura.
- V_{tot} : área do primeiro pavimento multiplicada pela altura. Para o cálculo da altura, considerar os procedimentos já citados;
- A_{env} : Área das fachadas somada a A_{pcob} .

5.2.5. Percentual de Abertura da Fachada (PAF)

Os procedimentos indicados para o cálculo do PAF são divididos entre dois tipos de fachadas: convencionais e pele de vidro. Ambos são aplicáveis tanto para o cálculo do PAF_T quanto para o cálculo do PAF_O .

Para as fachadas convencionais, o desconto de esquadria estabelecido refere-se a menor área de esquadria identificada por Guedes (2012), relativa à janela de abrir (ou de giro), de 01 ou 02 folhas. Para determinar o PAF, nestes casos, portanto, devem ser seguidos os seguintes passos:

- A partir do projeto das fachadas, determinar a área total de cada fachada e a área das aberturas;
- Aplicar um desconto de 10% na área das aberturas, referente às esquadrias;
- Determinar o PAF_T e o PAF_O , de acordo com a indicação do RTQ-C.

Para as fachadas pele de vidro, o desconto de esquadrias estabelecido refere-se a menor área de esquadrias deste tipo determinada para os edifícios etiquetados a partir da consultoria do LABCON – UFMG. Para determinar o PAF, por sua vez, devem ser seguidos os seguintes passos:

- A partir do projeto das fachadas, determinar a área total de cada fachada e a área das aberturas envidraçadas;
- Aplicar um desconto de 8% na área das aberturas, referente às esquadrias;
- Determinar o PAF_T e o PAF_O , de acordo com a indicação do RTQ-C.

No caso das fachadas pele de vidro, é importante estabelecer internamente a altura e largura da abertura, já que, em muitos casos, pode haver uma superfície opaca interna ao vidro, a qual deve ser descontada para o cálculo do PAF.

5.2.6. Fator Solar (FS)

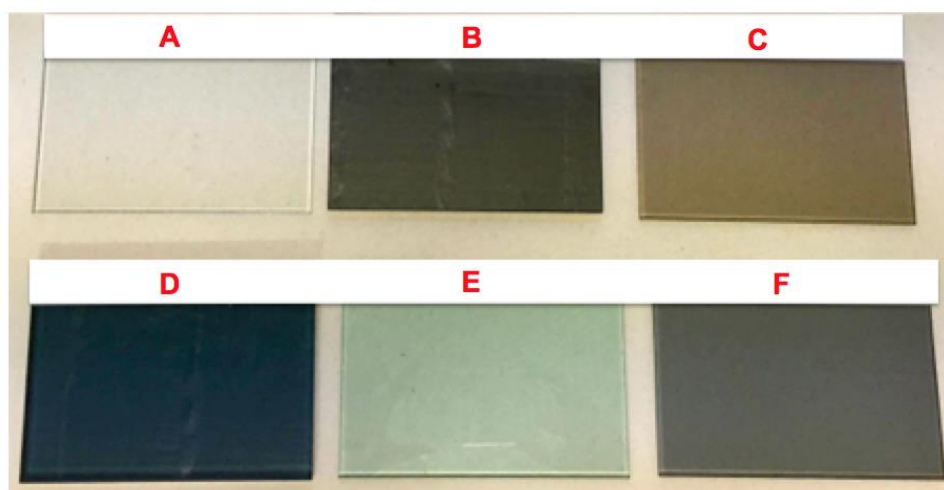
Para definir os procedimentos simplificados, os vidros foram divididos entre monolíticos e laminados. Observa-se que, em edificações construídas antes de 1980, os vidros utilizados são os monolíticos. A Figura 20 indica a diferença visual entre um vidro monolítico e um vidro laminado, respectivamente.



Figura 20 - Amostra de vidro monolítico e laminado, respectivamente. Fonte: Acervo pessoal.

A partir dos dados fornecidos em catálogos de fabricantes de vidros e na Tabela V.c do Anexo V do RAC (BRASIL, 2013a) foi estabelecida a Tabela do FS dos Vidros (Tabela 13), a qual apresenta a seguinte categorização dos vidros e seus respectivos valores para FS:

- Monolítico ou laminado;
- Aparência da cor: incolor, fumê, bronze, azul, verde e cinza. A Figura 21, por sua vez, apresenta amostras de vidros para as cores citadas;
- Sem reflexão (0%), Baixa refletividade ($\leq 15\%$) ou alta refletividade ($>15\%$). A Figura 22 indica a referência a ser usada para estabelecer a refletividade de vidros.



A – Vidro Incolor **D – Vidro Azul**
B – Vidro Fumê **E – Vidro Verde**
C – Vidro Bronze **F – Vidro Cinza**

Figura 21 - Amostras com as cores de vidros identificadas. Fonte: Acervo pessoal.



Figura 22 - Refletância dos vidros: sem reflexão, baixa e alta refletividade. Fonte: Acervo pessoal.

Tabela 13 – Tabela do Fator Solar de Vidros

Tipo de vidro	Incolor	Fumê	Verde	Azul	Cinza	Bronze
Monolíticos						
Sem reflexão	0,83	0,63	0,66	0,58	0,55	0,58
Baixa refletividade	0,46	-	0,52	0,38	0,47	0,54
Alta refletividade	0,44	-	0,36	0,32	0,39	0,45
Incolor (duplo) - 3mm	0,78					
Verde (duplo)	0,40					
Cinza (duplo)	0,37					
Laminados						
Sem reflexão	0,57	-	0,45	0,32	0,43	0,54
Baixa refletividade	0,42	-	0,39	0,36	0,41	0,45
Alta refletividade	0,29	-	0,31	0,31	0,27	0,42

Como procedimento simplificado para determinar o FS dos vidros, o avaliador deve comparar o vidro identificado *in loco* de acordo com dados fornecidos na Tabela do Fator Solar dos Vidros (Tabela 13), quanto ao tipo de vidro, aparência de cor e refletividade. Em seguida deve-se determinar o valor do FS a ser utilizado na equação de IC_{env} .

5.2.7. Percentual de Abertura Zenital (PAZ)

O procedimento simplificado relacionado à determinação do percentual de abertura zenital depende dos procedimentos simplificados para o cálculo da $A_{p_{cob}}$ e do FS.

Os passos a serem seguidos no procedimento simplificado para o PAZ são:

- Verificar a existência de aberturas zenitais;
- Estabelecer o FS do vidro de acordo com a tabela de vidros elaborada neste estudo (Tabela 13);
- Determinar a área da abertura e estabelecer o PAZ. Caso maior que 5%, deve-se considerar que o pré-requisito não é atendido;

- Caso menor que 5%, os limites devem ser confrontados com o FS, a fim de estabelecer se o pré-requisito é ou não atendido.

Percebe-se, pela análise da Tabela do FS proposta neste estudo, que, caso o percentual de abertura zenital seja menor que 2%, os vidros simples já atendem ao pré-requisito. No caso de outras superfícies, como policarbonato, por sua vez, utilizar dados fornecidos pelos fabricantes.

5.2.8. Ângulos de Sombreamento: AHS e AVS

Como primeiro passo para a simplificação dos cálculos relacionados aos ângulos de sombreamento (AVS e AHS), buscou-se avaliar a influência do aumento desses ângulos no IC_{env} , a fim de determinar se a utilização destes, para o cálculo em determinada ZB, pode aumentar ou diminuir o nível de eficiência alcançado. Para isso, foi utilizada uma combinação de parâmetros, em que há a mudança de um parâmetro a cada teste, a fim de observar a influência do parâmetro alterado em relação ao resultado final.

Para isso, foram utilizados os edifícios I e II determinados com estudos de caso. Todas as outras variáveis da equação para a determinação do IC_{env} foram mantidas de acordo com os dados de projeto, enquanto os ângulos de sombreamento foram combinados de modo a identificar as variações do IC_{env} . O IC_{env} foi estabelecido, pelas mesmas combinações, para as 08 ZBs. A Tabela 14 indica a combinação dos ângulos para o Edifício I.

O Quadro 14, por sua vez, apresenta um resumo da análise do aumento do AHS e AVS e o conseqüente efeito no IC_{env} calculado para cada ZB. Sabe-se que a redução do IC_{env} indica o melhor desempenho da Envoltória, e este é calculado segundo as equações de cada ZB pelo RTQ-C.

Tabela 14 - IC_{env} de acordo com a combinação dos ângulos de sombreamento para o Edifício I.

Zona Bioclimática	Combinação dos ângulos (em graus)		IC_{env}
	AHS	AVS	
ZB 01	0	0	169,52
	0	22,5	170,96
	22,5	45	170,95
	45	0	184,45
	45	22,5	179,95
	22,5	0	179,95
	0	45	166,46
	45	45	178,36

ZB 02 e 03	0	0	368,25
	0	22,5	377,66
	22,5	45	376,75
	45	0	388,67
	45	22,5	384,39
	22,5	0	385,3
	0	45	373,39
	45	45	385,14
ZB 04 e 05	0	0	118,98
	0	22,5	119,61
	22,5	45	111,06
	45	0	123,44
	45	22,5	116,46
	22,5	0	125,01
	0	45	112,64
	45	45	122,47
ZB 07	0	0	275,58
	0	22,5	289,14
	22,5	45	264,6
	45	0	281,91
	45	22,5	267,96
	22,5	0	292,5
	0	45	275,19
	45	45	284,65
ZB 06 e 08	0	0	275,36
	0	22,5	270,48
	22,5	45	270,91
	45	0	250,5
	45	22,5	257,44
	22,5	0	257,02
	0	45	277,43
	45	45	265,15

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 14 - Valor do ICenv com o aumento dos ângulos de sombreamento

Zona Bioclimática	Valor do ICenv	
	AHS aumentou	AVS aumentou
ZB 01	Aumentou	Reduziu
ZB 02 e 03	Aumentou	Reduziu
ZB 04 e 05	Reduziu	Reduziu
ZB 07	Reduziu	Reduziu
ZB 06 e 08	Reduziu	Aumentou

Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com os resultados da análise de ambos os edifícios, nas ZB 04, 05 e 07,

com aumento de ambos os ângulos de sombreamento, o IC_{env} apresenta redução. Estes resultados encontrados eram esperados, já que, como se trata de regiões quentes, as proteções solares apresentam a função de diminuir os ganhos térmicos, fato que contribui com a redução do IC_{env} .

Para as ZB 01, 02 e 03, por sua vez, o aumento do AVS reduz o IC_{env} , entretanto, o aumento do AHS contribui com o aumento do IC_{env} . Tais zonas apresentam características verão quente e inverno frio e a principal estratégia bioclimática recomendada para o inverno, de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005), é o aquecimento solar. Por esta razão, o sombreamento pode ou não ser favorável.

O caso inverso ocorre nas ZB 06 e 08, onde o aumento do AHS reduz o IC_{env} e o aumento do AVS o faz aumentar. Este resultado não era esperado, já que se trata de zonas bioclimáticas quentes, nas quais o sombreamento das aberturas é indicado pela NBR 15220 (ABNT, 2005), portanto, o aumento dos ângulos deveria favorecer a redução do IC_{env} .

A partir desta etapa, verificou-se que não é recomendado considerar o AHS para o cálculo das ZBs 01, 02 e 03, em concordância com o fato de representarem latitudes mais altas, e conseqüente clima mais frio. O AVS, por sua vez, não deve ser calculado para as ZBs 06 e 08.

A segunda etapa da elaboração do procedimento simplificado, por sua vez, consta em determinar o sombreamento padrão a ser considerado para cada variável. De acordo com a metodologia simplificada aplicada pelo SCE, em Portugal, foi estabelecida uma escala de sombreamento, a qual deve ser observada em cada fachada, para ambos os ângulos de sombreamento considerados (Figura 23):

- Sem sombreamento: quando o sombreamento forma ângulos entre 0° e 10° . O valor padrão a ser adotado para os cálculos, neste caso é de 0° ;
- Sombreado: quando o sombreamento forma ângulos entre $10,1^\circ$ e 35° . O valor padrão a ser adotado para os cálculos, neste caso é de $22,5^\circ$;
- Fortemente sombreada: quando o sombreamento forma ângulos entre $35,1^\circ$ e 90° . O valor padrão a ser adotado para os cálculos, neste caso é de 45° ⁶.

Para estabelecer valores numéricos a serem inseridos no cálculo das equações da

⁶ Para a equação de edificações com $A_{pe} \leq 500 \text{ m}^2$, inseridas nas ZBs 06 e 08, contudo, o valor máximo para os ângulos de sombreamento a ser utilizado deve ser de 25° . Esta é uma recomendação do RTQ-C (BRASIL, 2010a).

Envoltória, portanto, recomenda-se estabelecer o tipo de sombreamento para cada fachada, de acordo com as três categorias citadas. Em seguida, a partir dos valores estabelecidos para cada fachada (0° , $22,5^\circ$ e 45°), deve-se calcular a média para AVS e AHS. Este valor deve ser introduzido na equação recomendada, de acordo com o edifício a ser avaliado e com a ZB onde está inserido.

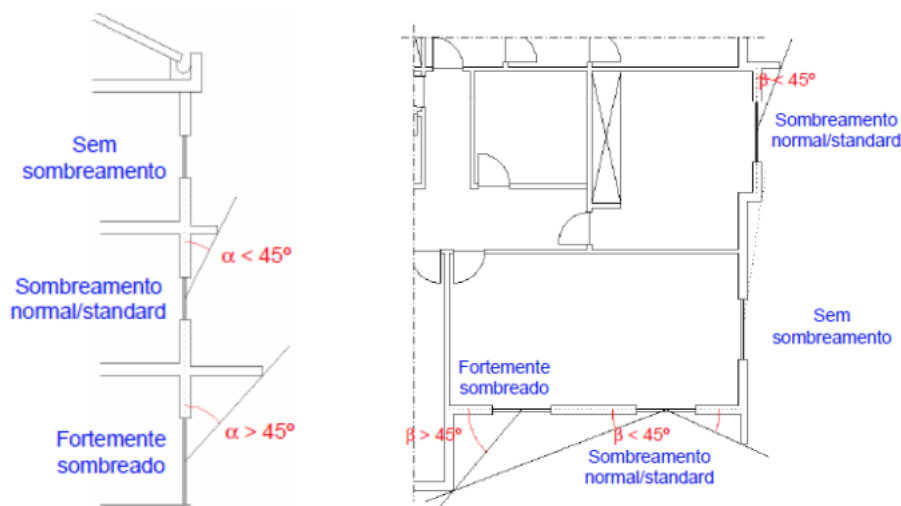


Figura 23 - Ângulos de sombreamento padrão propostos. Fonte: ADENE (2013).

5.3. Avaliação dos Estudos de Caso pelo Método Prescritivo: Procedimentos Simplificados e Procedimentos Vigentes

As variáveis que envolvem a avaliação da Envoltória dos quatro edifícios que compõem a amostra foram determinadas a partir dos procedimentos simplificados elaborados e, em seguida, pelos procedimentos vigentes, conforme o Quadro 10 (Capítulo III).

Para os edifícios I e II, todas as variáveis foram determinadas. Foram estabelecidos os limites dos pré-requisitos, referentes à ZB03 e o IC_{env} referente a todas as ZBs. Por apresentarem $A_{pe} \leq 500 \text{ m}^2$ e $A_{pe} > 500 \text{ m}^2$, respectivamente, os edifícios abrangem as duas equações propostas para cada ZB. O tempo aplicado para a determinação de cada variável foi contabilizado. Para a aplicação dos procedimentos simplificados para a determinação das variáveis dos edifícios I e II, por sua vez, foi realizada uma inspeção aos edifícios com a duração de 2 horas e 4 horas, respectivamente, já que se trata de edifícios de diferente complexidade (Edifício II é mais complexo que o Edifício I).

No caso do Edifício III, foram avaliadas as variáveis: PAF, FS e ângulos de

sombreamento, além do PAZ, enquanto para o edifício IV foram avaliados o PAF e o FS. Tais análises foram realizadas, em relação a estas variáveis, pois estas representam situações não contempladas situações nos dois primeiros edifícios da amostra: torres verticalizadas com fachadas de pele de vidro.

Os resultados referentes aos procedimentos vigentes, para os edifícios III e IV, foram calculados de acordo com os dados do Relatório de Inspeção das edificações. Vale considerar também que, como as edificações foram avaliadas antes da publicação da NT07, foram estabelecidos PAF e ângulos de sombreamento médios, já que tratam-se de edificações, que, se avaliadas hoje, seriam divididas entre os blocos base e torre.

As avaliações dos edifícios I e II, por sua vez, serão apresentadas de acordo com os procedimentos simplificados e vigentes para pré-requisitos, IC_{env} e tempo de aplicação. Para os edifícios III e IV, todavia, serão apresentadas a análise e determinação das variáveis pertinentes, considerando ambos os procedimentos.

5.3.1. Avaliação do Edifício I

Para a avaliação do Edifício I pelos procedimentos simplificados, foi realizada uma inspeção da edificação de 2 horas de duração. Os procedimentos de escritório constaram da análise dos dados recolhidos em campo.

Por sua vez, para a avaliação da edificação pelos procedimentos vigentes, foram realizados, primeiramente, levantamentos no local para a coleta dos dados necessários para a etiquetagem. Foram realizadas duas inspeções com a duração total de seis horas, com o objetivo de aferir as informações de projeto e levantar informações faltantes.

O projeto arquitetônico e o detalhamento de elementos como esquadrias, além das informações complementares sobre o edifício, foram obtidos em formato digital. A partir dessas informações foi possível definir as características para a avaliação da Envoltória, como as áreas, os ângulos de sombreamento (AVS e AHS) e a espessura dos materiais componentes.

A partir dos dados levantados, foi possível definir os procedimentos vigentes a serem utilizados para a determinação das variáveis da Envoltória, e conseqüentemente, o nível de precisão de cada um, a fim de conduzir a avaliação (Quadro 15).

Quadro 15 - Nível de Precisão das Variáveis – Edifício I

Edifício I			
	Variável	Método de análise	Nível de Precisão
Pré-requisitos Envolvória	U_{par}	Avaliação Visual	02
	U_{cob}	Avaliação Visual	02
	α_{par}	Medições ALTA II	01
	α_{cob}	Medições ALTA II	01
	Zenitais	Não se aplica	-
Envolvória	Áreas	Projeto original	02
	AVS	Projeto original	02
	AHS	Projeto original	02
	FS	Consulta aos catálogos	02
	PAF	Projeto original	02

Fonte: Elaborado pela autora.

5.3.1.1. Pré-requisitos

Para a aplicação dos procedimentos simplificados, foram identificadas as composições das paredes externas e cobertura, em seguida, foi determinada a transmitância térmica equivalente, a partir das tabelas 08 e 10, respectivamente, propostas neste estudo. O Quadro 16 mostra as composições identificadas para o estudo de caso. Como ambas as superfícies que compõem as paredes externas atendem ao limite definido para ZB 03 (3,7 W/m²K), como recomendado para o procedimento simplificado, a ponderação não foi realizada.

Quadro 16 – Transmitância térmica das superfícies externas simplificada – Edifício I

Componente	Composição	Composição equivalente	Transmitância térmica (U) (W/m ² K)	Limite (ZB 03)
Paredes	Bloco de concreto estrutural, sem revestimento (e = 15 cm).	9	3,0	ATENDE
	Bloco de concreto estrutural, com revestimento externo (16 cm).	10	2,8	ATENDE
Cobertura	Cobertura de telhas metálicas, câmara de ar (30 cm) e laje de concreto (14 cm).	14	1,6	ATENDE

Fonte: Elaborado pela autora.

No caso da aplicação dos procedimentos vigentes, por sua vez, a transmitância térmica foi definida a partir dos cálculos segundo os parâmetros da NBR 15220/2 (ABNT, 2005), já que os materiais componentes das paredes externas e da cobertura foram identificados no projeto arquitetônico e visualmente, durante a inspeção *in loco* (Quadro 17).

Quadro 17 - Transmitância térmica das superfícies externas – Edifício I

Componente	Composição	Transmitância Térmica (U) (W/m ² K) ponderada	Nível de eficiência do pré-requisito (ZB 03)
Paredes	Parede de blocos de concreto e tinta rústica - bloco de concreto (dimensões: 0,39 X 0,14m). Alvenaria estrutural.	3,26	A
	Parede de blocos de concreto e revestimento externo de argamassa e tinta rústica - bloco de concreto (dimensões: 0,39 X 0,14m). Alvenaria estrutural.		
Cobertura	Telha metálica de aço galvanizado (e=0,5mm), câmara de ar (e=30,0cm) e laje de concreto (e= 10,0cm).	1,62	A

Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se que, para a avaliação da transmitância térmica por ambos os procedimentos, os níveis de eficiência alcançados foram os mesmos (nível A). Tal avaliação foi realizada considerando os limites de $U_{par} < 3,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $U_{cob} < 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ (já que se trata de ambientes não condicionados), estabelecidos para a ZB 03, na qual a edificação se insere. O resultado, após a ponderação, encontrado para a U_{par} pelo procedimento simplificado (2,92 W/m²K), variou 10,4% em relação ao resultado encontrado pelo procedimento vigente. No caso da U_{cob} , por sua vez, a variação do resultado é de 1,2%. Em ambos os casos, portanto, a variação encontrada apresentou-se dentro do limite de 10%, tolerado pelo RAC.

Para a determinação da absorvância à radiação solar de paredes externas e coberturas, de acordo com o procedimento simplificado proposto, foram mapeadas as superfícies externas e estabelecido o revestimento a partir da análise *in loco* (Quadro 18).

Quadro 18 – Absortância à Radiação Solar das superfícies externas simplificada – Edifício I

Superfície	Cor equivalente	Condição da superfície	Absortância (%)	Limite
Cor I	Tinta: Branco Neve	Rugosa e envelhecida	40,2	ATENDE
Cor II	Tinta: Pêssego	Rugosa e envelhecida	52,8	ATENDE
Cor III	Tinta Branco Gelo (cobertura)	Lisa e envelhecida	64,5	NÃO ATENDE

Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se que o Edifício I atende ao pré-requisito para o nível A na avaliação da absorvância à radiação solar das paredes externas. No caso da absorvância da cobertura, entretanto, o pré-requisito não é atendido, por isso, como o edifício está inserido na ZB 03, a classificação final limita-se ao nível C.

Para a determinação da absorvância, por sua vez, pelo procedimento vigente, foram realizadas as medições com o espectrofotômetro ALTA II, seguindo as recomendações do Guia de Medição e Cálculo para Refletância e Absorvância Solar em Superfícies Opacas (CB3E, 2015). As medições foram realizadas em 12 pontos de cada uma das três cores identificadas visualmente: paredes externas (branco e laranja médio) e cobertura (branco) (Quadro 19).

Quadro 19 - Absorvância à Radiação Solar média superfícies externas – Edifício I

Superfície	Cor identificada	Absorvância média (%)	Nível de eficiência do pré-requisito
Cor I	Branco	10,87	A
Cor II	Laranja	40,78	A
Cor III	Branco (cobertura)	58,10	C

Fonte: Elaborado pela autora.

Por fim, os resultados individuais foram ponderados, a fim de estabelecer os índices totais para avaliação do pré-requisito. Assim como nos procedimentos simplificados, os resultados indicaram que o Edifício I atende ao nível A, para a absorvância das paredes externas, e indica o nível C para a cobertura. Todavia, os resultados individuais, referentes a cada cor identificada, variaram significativamente, principalmente no caso das paredes externas.

A superfície identificada como Cor I apresentou acréscimo de 73,0% entre o valor identificado pelo procedimento vigente, em relação ao simplificado. No caso da superfície definida como Cor II, por sua vez, o acréscimo foi de 22,8%. O acréscimo indicado, para ambas as superfícies, pode ser atribuído à aplicação dos dois fatores de majoração (rugosidade e manutenção). No caso da Cor I, ainda, o fator de majoração de manutenção aplicado é mais alto do que o aplicado à Cor II (1,75 e 1,12, respectivamente). Isto pode explicar a diferença percentual encontrada, mais elevada no caso da Cor I.

Por fim, no caso da cobertura (Cor III), a diferença encontrada entre os procedimentos foi de 10,0%. Trata-se de uma superfície lisa, portanto apenas o fator de majoração de manutenção foi aplicado. A variação encontrada, no caso da cobertura, atende aos limites estabelecidos pelo RAC (BRASIL, 2013a) de erro para este pré-requisitos.

5.3.1.2. Indicador de Consumo da Envoltória (IC_{env})

As variáveis relacionadas ao cálculo do IC_{env} foram também estabelecidas de acordo com os procedimentos simplificados e vigentes, para todas as ZBs.

Com a aplicação dos procedimentos simplificados, todas as variáveis foram determinadas seguindo as recomendações explicitadas no item 5.2 deste Capítulo. No caso das ZBs 06 e 08, por sua vez, o valor atribuído ao AVS foi 0, já que, o cálculo desta variável não é recomendado para estas ZBs.

Com a aplicação dos procedimentos vigentes, por sua vez, as variáveis FA, FF, PAF_T, PAF_O, foram calculadas de acordo com as informações disponibilizadas no projeto arquitetônico e conferidas *in loco* durante a inspeção. O FS, por sua vez, foi estabelecido após a consulta em catálogo da empresa de vidros Pilkington do Brasil Ltda, a partir das características apontadas em projeto (Tabela 15).

Tabela 15 - Variáveis para a equação do IC_{env} – Edifício I

Variável		Procedimentos Simplificados	Procedimentos Vigentes	Diferença entre os resultados
A _{pcob}	FA	0,48	0,47	0,01
A _{tot}				
A _{env}	FF	0,48	0,48	0
V _{tot}				
PAF _T		0,14	0,10	0,04
PAF _O		0	0	-
FS		0,83	0,83	0
AVS		22,5	17,64	4,96°
AHS		0	5,62	5,62°

Fonte: Elaborado pela autora.

O FF e FS foram constantes em ambos os procedimentos, enquanto o FA sofreu uma alteração de 2%, a qual não ultrapassa a tolerância de 5%, estabelecida pelo RAC (BRASIL, 2013a). Os ângulos de sombreamento (AVS e AHS), por sua vez, apresentaram o aumento de 4,96° e a diminuição de 5,62°, respectivamente, quando comparados os procedimentos simplificados aos vigentes. Considerando que o valor máximo a ser atingido pelos ângulos de sombreamento nas equações da Envoltória é de 45°, a variação representada pela diferença encontrada é de 11% para AVS e de 12,5% para AHS.

O PAF_T apresentou a maior variação (aumento de 40% entre os procedimentos simplificados e vigentes), a qual pode ser justificada pelo desconto de esquadrias aplicado. Para o cálculo pelo procedimento simplificado, o desconto aplicado foi menor (10%), quando comparado ao procedimento vigente (36,6%). Entretanto, quando analisada a diferença do percentual determinado em cada procedimento, esta representa 4%.

A classificação do nível de eficiência do edifício, a partir IC_{env} , foi estabelecida de acordo com a equação $A_{pe} \leq 500m^2$ para todas as ZBs (Quadro 20). Os níveis de eficiência estabelecidos referem-se ao IC_{env} calculado de acordo as variáveis determinadas pelos procedimentos simplificados e pelos procedimentos vigentes, respectivamente. Para esta classificação, por sua vez, o atendimento aos pré-requisitos não foi considerado.

Quadro 20 – IC_{env} e nível de eficiência da Envoltória – Edifício I

Zona Bioclimática	IC_{env} simplificado	Nível de Eficiência IC_{env} simplificado	IC_{env} vigente	Nível de eficiência IC_{env} vigente	Variação do IC_{env} (%)
ZB 01	128,79	A	128,01	A	0,6
ZB 02 e 03	331,8	A	327,49	A	1,3
ZB 04 e 05	104,25	A	104,36	A	0,1
ZB 07	216,46	A	211,93	A	2,1
ZB 06 e 08	158,83	A	154,72	A	2,6

Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se que a classificação do IC_{env} não variou em relação aos procedimentos utilizados para a determinação das variáveis, simplificados ou vigentes. Os valores de IC_{env} , por sua vez, não apresentaram variação maior que 2,6%.

5.3.2. Avaliação do Edifício II

O Edifício II, por sua vez, apresenta uma volumetria irregular. Em razão da recomendação da NT 07 (BRASIL, 2014d), para maior precisão nos resultados alcançados na avaliação, a edificação foi dividida em 03 blocos, os quais serão avaliados separadamente: Bloco A, Bloco B e Bloco C (Figura 24).

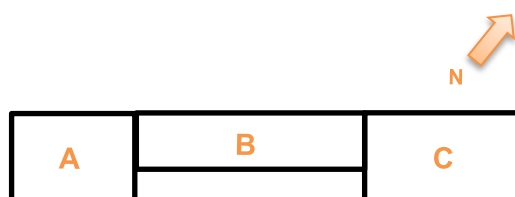


Figura 24 – Divisão do Edifício II em blocos.

Fonte: Elaborado pela autora.

Para a avaliação pelos procedimentos simplificados, foram realizadas duas visitas de inspeção à edificação, com a duração total de 4 horas, para a coleta dos dados necessários. Os procedimentos de escritório constaram da análise dos dados recolhidos em campo.

Para a avaliação pelos procedimentos vigentes, por sua vez, foram, primeiramente, realizadas duas visitas para inspeção, com a duração total de oito horas, com o objetivo de aferir as informações de projeto e levantar as informações faltantes.

O projeto arquitetônico e o detalhamento de elementos como esquadrias, além das informações complementares sobre os blocos que compõem o edifício, foram obtidos em formato digital. Essas informações possibilitaram a definição das características para a avaliação da Envoltória, como as áreas, ângulos de sombreamento (AVS e AHS) e espessura dos materiais componentes.

A partir dos dados levantados, foi possível definir os métodos a serem utilizados para a determinação das variáveis da envoltória, e conseqüentemente, o nível de precisão de cada um, a fim de conduzir a avaliação (Quadro 21).

Quadro 21 - Nível de Precisão das Variáveis – Edifício II

Edifício II			
	Variável	Método de análise	Nível de Precisão
Pré-requisitos Envoltória	U_{par}	Avaliação Visual	02
	U_{cob}	Avaliação Visual	02
	α_{par}	Medições ALTA II	01
	α_{cob}	Medições ALTA II	01
	Zenitais	Projeto completo	01
Envoltória	Áreas	Projeto original	02
	AVS	Projeto original	02
	AHS	Projeto original	02
	FS	Dados do fabricante	01
	PAF	Projeto original	02

Fonte: Elaborado pela autora.

5.3.2.1. Pré-requisitos

Os pré-requisitos da Envoltória determinados para a avaliação da edificação foram: transmitância térmica e absorvância de paredes externas e cobertura, além do PAZ.

Para a aplicação dos procedimentos simplificados, foram identificadas as composições das paredes externas e cobertura para cada bloco, em seguida, foi determinada a transmitância térmica equivalente, a partir das tabelas 08 e 10, respectivamente, propostas neste estudo (Quadro 22). Observou-se que as composições utilizadas nos três blocos são similares e estes apresentam estrutura de concreto, por esta razão, para o cálculo da U_{par} , foi considerado o fator de majoração de 1,35, como recomendado neste estudo.

Quadro 22 - Transmitância térmica das superfícies externas simplificada – Edifício II

Componente	Composição	Composição equivalente	Transmitância térmica (U) (W/m ² K)	Limite (ZB 03)
Paredes	Bloco cerâmico com revestimento interno e externo (e=15 cm)	17	2,1 *1,35 = 2,8	ATENDE
	Bloco cerâmico com revestimento interno e externo (e=30 cm)	17	2,1 *1,35 = 2,8	ATENDE
Cobertura	Cobertura de telhas metálicas, câmara de ar (30 cm), laje de concreto (14 cm) e forro acústico	15	0,6	ATENDE

Fonte: Elaborado pela autora.

No caso da cobertura, por sua vez, nos Blocos A e C, foram identificados ambientes condicionados artificialmente, por esta razão, os limites estabelecidos para a ZB 03 foram de 2,0 W/m²K e 1,0 W/m²K. Para ambos os limites, por sua vez, o pré-requisito é atendido.

Para a avaliação dos pré-requisitos pelos procedimentos vigentes, por sua vez, a transmitância térmica foi definida a partir do cálculo segundo os parâmetros da NBR 15220/2 (ABNT, 2005), já que os materiais componentes das paredes externas e da cobertura foram identificados no projeto arquitetônico (Quadro 23).

Quadro 23 - Transmitância térmica das superfícies externas – Edifício II

Componente	Composição	Transmitância Térmica (U) (W/m ²) ponderada	Nível de eficiência do pré-requisito (ZB 03)
Paredes	Parede de blocos cerâmicos e revestimento em argamassa e tinta - bloco cerâmico (dimensões: 0,39 X 0,09m).	2,34	A
	Parede de blocos cerâmicos assentados na maior dimensão e revestimento externo de argamassa e tinta - bloco de concreto (29 cm).		
	Estrutura em concreto: vigas e pilares		
Cobertura	Telha metálica de aço galvanizado (e=0,5mm), câmara de ar (e=30,0cm), laje de concreto (e= 10,0cm) e forro acústico.	0,68	A

Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se que, para a avaliação da transmitância térmica por ambos os procedimentos, os níveis de eficiência alcançados foram os mesmos (nível A). O resultado final, após a ponderação, encontrado para U_{par} pelo procedimento simplificado (2,80 W/m²K), variou 16,8% em relação ao resultado encontrado a partir do procedimento vigente. No caso da U_{cob} , por sua vez, a variação do resultado é de 11,8%.

Para a determinação da absorvância à radiação solar de paredes externas e

coberturas pelo procedimento simplificado, por sua vez, foram também mapeadas as cores encontradas na Envoltória em cada um dos três blocos e estabelecido, a partir da comparação com a escala de cores, o atendimento ao pré-requisito (Quadro 24).

Quadro 24 – Absortância à Radiação Solar das superfícies externas simplificada – Edifício II

Bloco	Superfície	Cor equivalente	Condição da superfície	Absortância	Limite
Bloco A	Cor I	Azul	Rugosa e antiga	80,8	NÃO ATENDE
	Cor II	Branco	Rugosa e antiga	40,5	ATENDE
Bloco B	Cor III	Vanila	Rugosa e antiga	44,2	ATENDE
	Cor IV	Amarelo Canário	Lisa e antiga	45,4	ATENDE
	Cor V	Branco	Lisa e antiga	33,4	ATENDE
Bloco C	Cor I	Azul	Rugosa e antiga	80,8	NÃO ATENDE
	Cor II	Branco	Rugosa e antiga	40,5	ATENDE
Cobertura	Cor VI	Branco Gelo	Lisa e antiga	64,5	NÃO ATENDE

Fonte: Elaborado pela autora.

O Bloco B atende ao pré-requisito para o nível A na avaliação da absortância à radiação solar das paredes externas. Nos Blocos A e C, entretanto, foi identificado que a cor Azul ultrapassa o limite de 50%, estabelecido para ZB 03. Por esta razão foi realizada a ponderação pela área ocupada por cada cor identificada, a qual estabeleceu que ambos os blocos atendem ao pré-requisito. No caso da absortância da cobertura, contudo, o pré-requisito não é atendido, por isso, como o edifício está inserido na ZB 03, a classificação final limita-se ao nível C.

Para a determinação da absortância, por sua vez, pelo procedimento vigente, foram realizadas as medições com o espectrofotômetro ALTA II, de acordo com os mesmos parâmetros utilizados no edifício I. As medições foram realizadas em 12 pontos de cada uma das 6 cores identificadas: paredes externas (branco rugoso, branco liso, amarelo claro, amarelo médio e azul) e cobertura (branco) (Quadro 25).

Quadro 25 – Absortância à Radiação Solar das superfícies externas – Edifício II

Superfície	Cor identificada	Absortância média (%)	Nível de eficiência do pré-requisito
Cor I	Azul	95,04	C
Cor II	Branco rugoso	27,75	A
Cor V	Branco liso	37,90	A
Cor III	Amarelo claro	34,17	A
Cor IV	Amarelo médio	37,42	A
Cor VI	Branco (cobertura)	63,52	C

Fonte: Elaborado pela autora.

Por fim, os resultados individuais foram ponderados, a fim de estabelecer os índices

totais para avaliação do pré-requisito. Assim como nos procedimentos simplificados, os resultados indicaram que o Edifício II atende ao nível A para a absorvância das paredes externas, e indica o nível C para a cobertura. Todavia, os resultados individuais, referentes a cada cor identificada, variaram significativamente, principalmente no caso das superfícies rugosas. O Quadro 26 apresenta a variação percentual entre os resultados alcançados.

Quadro 26 – Variação percentual da absorvância em relação ao procedimento simplificado e vigente

Superfície	Cor I	Cor II	Cor III	Cor IV	Cor V	Cor VI
Variação (%)	15,0	31,5	22,7	17,6	11,9	1,5

Fonte: Elaborado pela autora.

As variações mais significativas entre os resultados são observadas nas superfícies rugosas categorizadas como cores: Branco (Cor I – 31,5%) e Amarelo (Cor III – 22,7), para as quais o fator de majoração para rugosidade aplicado no procedimento simplificado é maior (1,75 e 1,12, respectivamente). Por fim, no caso da cobertura (Cor VI), a variação encontrada entre os procedimentos é de 1,5%. Trata-se de uma superfície lisa, portanto apenas o fator de majoração de manutenção foi aplicado.

O Edifício II apresenta uma abertura zenital no Bloco A, por esta razão, foi realizada a avaliação do PAZ, de acordo com os procedimentos simplificados e vigentes, respectivamente. Pelo procedimento simplificado, a abertura zenital foi definida em 3% do valor da A_{pcob} . O limite estabelecido neste caso para o FS é de 0,67. Identificou-se, contudo, que o vidro utilizado (laminado e fumê) apresenta o FS de 0,43.

Para o procedimento vigente, por sua vez, o PAZ foi calculado em 2,87% da A_{pcob} , o que estabelece também o limite de 0,67 para o FS. O FS estabelecido em projeto para o vidro laminado fumê de 8 mm é de 0,44. A partir destes resultados é possível estabelecer que o pré-requisito para o nível A é atendido, para ambos os procedimentos.

5.3.2.2. Indicador de Consumo da Envoltória (IC_{env})

As variáveis relacionadas ao cálculo do IC_{env} foram também estabelecidas de acordo com os procedimentos simplificados e vigentes, para os três blocos determinados, para todas as ZBs.

Com a aplicação dos procedimentos simplificados, todas as variáveis foram determinadas seguindo as recomendações explicitadas no item 5.2 deste Capítulo. No caso das ZBs 06 e 08, por sua vez, o valor atribuído ao AVS foi 0, já que, o cálculo

desta variável não é recomendado para estas ZBs. O mesmo ocorreu para o AHS no caso das ZBs 02 e 03.

Com a aplicação dos procedimentos vigentes, por sua vez, as variáveis FA, FF, PAF_T, PAF_O, foram calculadas de acordo com as informações disponibilizadas no projeto arquitetônico e conferidas *in loco* durante a inspeção. O FS, por sua vez, foi identificado após a consulta ao memorial descritivo do projeto.

A Quadro 27 indica os valores determinados para cada variável, de acordo com o Bloco (A, B e C) e com os procedimentos adotados (simplificados e vigentes).

Quadro 27 – IC_{env} e nível de eficiência da Envoltória – Edifício II

Variável		Bloco I		Bloco II		Bloco III	
		(Proc. Simplificados)	(Proc. Vigentes)	(Proc. Simplificados)	(Proc. Vigentes)	(Proc. Simplificados)	(Proc. Vigentes)
A _{pcob}	FA	0,33	0,34	0,32	0,34	0,45	0,47
A _{tot}							
A _{env}	FF	0,18	0,18	0,31	0,30	0,27	0,27
V _{tot}							
PAF _T		0,23	0,20	0,25	0,22	0,08	0,07
PAF _O		0	0	0	0	0,05	0,05
FS		0,43	0,44	0,83	0,83	0,43	0,44
AVS		0	0	45,00	36,42	0	0
AHS		0	0	22,50	17,35	0	0

Fonte: Elaborado pela autora.

O FF e FS apresentaram diferença máxima de 0,01, enquanto o FA apresentou diferença máxima de 0,02. Os ângulos de sombreamento (AVS e AHS), por sua vez, foram nulos nos Blocos I e III e variaram em 8,53° e 5,15° para AVS e AHS, respectivamente, quando comparados os procedimentos simplificados aos vigentes. Considerando que o valor máximo a ser atingido pelos ângulos de sombreamento nas equações da Envoltória é de 45°, a variação representada pela diferença encontrada é de 19% para AVS e de 10,4% para AHS. O PAF_T apresentou a diferença máxima de 0,03 entre os procedimentos (Blocos I e II).

A classificação do nível de eficiência dos três blocos do Edifício II, a partir IC_{env}, foi estabelecida de acordo com a equação $A_{pe} > 500m^2$ para todas as ZBs. Os níveis de eficiência estabelecidos referem-se ao IC_{env} calculado de acordo as variáveis determinadas pelos procedimentos simplificados e pelos procedimentos vigentes (Quadro 28 e Quadro 29, respectivamente). Para a classificação, por sua vez, o atendimento aos pré-requisitos não foi considerado.

Quadro 28 - IC_{env} e nível de eficiência da Envolvória simplificado – Edifício II

Zona Bioclimática	Bloco I		Bloco II		Bloco III	
	IC _{env} simplificado	Classificação IC _{env}	IC _{env} simplificado	Classificação IC _{env}	IC _{env} simplificado	Classificação IC _{env}
ZB 01	113,12	A	149,58	A	135,50	A
ZB 02 e 03	67,97	A	127,96	A	114,60	A
ZB 04 e 05	254,28	A	231,62	A	251,46	A
ZB 07	30,25	A	157,49	E	101,90	A
ZB 06 e 08	65,28	A	226,94	A	158,13	A

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 29 - IC_{env} e nível de eficiência da Envolvória – Edifício II

Zona Bioclimática	Bloco I		Bloco II		Bloco III	
	IC _{env}	Classificação IC _{env}	IC _{env}	Classificação IC _{env}	IC _{env}	Classificação IC _{env}
ZB 01	112,06	A	146,34	A	135,31	A
ZB 02 e 03	66,35	A	125,83	A	113,86	A
ZB 04 e 05	252,63	A	231,90	A	256,96	A
ZB 07	28,45	A	145,11	E	100,17	A
ZB 06 e 08	62,71	A	210,97	A	154,36	A

Fonte: Elaborado pela autora.

A classificação do IC_{env}, portanto, não apresentou alteração entre aquela obtida a partir dos procedimentos simplificados e dos procedimentos vigentes, para os três blocos. No caso do Bloco II, para a ZB 07, por sua vez, o nível E de eficiência foi alcançado em ambos os procedimentos. O Quadro 30 apresenta a variação percentual entre os procedimentos adotados, para cada bloco, em cada ZB. Os valores de IC_{env} variaram, entre os procedimentos simplificados e vigentes adotados, em no máximo de 7,86% (Bloco II inserido na ZB 07).

Quadro 30 - Variação percentual do IC_{env} entre os procedimentos simplificados e vigentes

	Zona Bioclimática	Bloco I	Bloco II	Bloco III
Variação do IC _{env} (%)	ZB 01	0,94	2,17	0,14
	ZB 02 e 03	2,38	1,66	0,65
	ZB 04 e 05	0,65	0,12	2,14
	ZB 07	5,95	7,86	1,7
	ZB 06 e 08	3,94	7,04	2,38

Fonte: Elaborado pela autora.

Em seguida, para obter a classificação do edifício, as classificações obtidas para cada bloco foram ponderadas em relação à área da Envolvória de cada bloco, segundo a

recomendação da NT 07 (BRASIL, 2014d), indicada no Quadro 31. Para a classificação, por sua vez, o atendimento aos pré-requisitos não foi considerado.

Quadro 31 – Nível de eficiência do IC_{env} para o Edifício II

Zona Bioclimática	ZB 01	ZB 02 e 03	ZB 04 e 05	ZB 07	ZB 06 e 08
Classificação IC _{env} ponderada - simplificada	A	A	A	C	A
Classificação IC _{env} ponderada - vigente	A	A	A	C	A

Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se que a classificação da edificação, quanto ao IC_{env}, não variou entre os procedimentos adotados.

5.3.3. Tempo de Aplicação dos Procedimentos Simplificados e Vigentes – Edifícios I e II

O tempo para a aplicação dos procedimentos simplificados e vigentes para cada variável e para o cálculo do IC_{env} é apresentado no Quadro 32 para o Edifício I. O tempo gasto nas inspeções, por sua vez, foi dividido entre o tempo associado à determinação de cada variável, já que, durante as inspeções houve esta diferenciação.

Quadro 32 – Tempo de aplicação dos procedimentos simplificados e vigentes – Edifício I

Variável / Procedimento	Procedimentos Simplificados	Procedimentos Vigentes
Familiarização com o projeto e relatórios	1 hora e 45 minutos	3 horas e 20 minutos
Cálculo das Áreas	1 hora e 12 minutos	4 horas e 30 minutos
Transmitância Térmica de paredes e cobertura	25 minutos	8 horas
Absortância de paredes e cobertura	35 minutos	12 horas e 15 minutos
PAZ	não se aplica	não se aplica
PAF	35 minutos	4 horas
FS	12 minutos	2 horas
AVS	30 minutos	8 horas
AHS	30 minutos	8 horas
Calculo do IC _{env} e classificação	10 minutos	30 minutos
Tempo total	5 horas e 54 minutos	50 horas e 35 minutos

Fonte: Elaborado pela autora.

Todas as etapas de avaliação foram realizadas por apenas um avaliador, o mesmo em todas as edificações. A avaliação pelos procedimentos simplificados foi aplicada primeiro, seguida da avaliação pelos procedimentos vigentes. Isso ocorreu para que não houvesse interferência dos resultados mais precisos (procedimentos vigentes) sobre os menos precisos (procedimentos simplificados).

Para o cálculo do IC_{env} , no processo simplificado, ainda, foi utilizada a plataforma online WEBprescritivo, enquanto que para os procedimentos vigentes, todas as equações foram calculadas manualmente. Mesmo não sendo proposta por este estudo, a plataforma mostrou-se uma eficaz ferramenta de simplificação do processo de etiquetagem, a qual pode ser incorporada às indicações deste estudo.

Observou-se, portando, a redução de 88,4% do tempo aplicado na avaliação do Edifício I, quando aplicados os procedimentos simplificados.

Para o Edifício II, a mesma análise do tempo aplicado foi realizada, obedecendo aos mesmos parâmetros estabelecidos para o Edifício I. O Quadro 33 apresenta o tempo aplicado para a determinação das variáveis e o cálculo do IC_{env} .

Quadro 33 - Tempo de aplicação dos procedimentos simplificados e vigentes – Edifício II

Variável / Procedimento	Tempo Aplicado	Tempo Aplicado
Familiarização com o projeto e relatórios	2 horas e 30 minutos	4 horas
Cálculo das Áreas	2 horas	5 horas e 15 minutos
Transmitância Térmica de paredes e cobertura	45 minutos	8 horas
Absortância de paredes e cobertura	1 hora e 20 minutos	16 horas
PAZ	20 minutos	30 minutos
PAF	45 minutos	4 horas
FS	25 minutos	30 minutos
AVS	30 minutos	8 horas
AHS	30 minutos	8 horas
Calculo do IC_{env} e classificação final	15 minutos	45 minutos
Tempo total	9 horas e 20 minutos	55 horas

Fonte: Elaborado pela autora.

Observou-se a redução de 83% do tempo aplicado na avaliação do Edifício II, quando aplicados os procedimentos simplificados.

5.3.4. Edifício III: PAZ, PAF, FS, Ângulos de Sombreamento (AVS e AHS) e IC_{env}

Foram avaliadas as variáveis: PAZ, PAF e FS e ângulos de sombreamento (AVS e AHS) para o Edifício III, segundo os procedimentos simplificados propostos. Os resultados da inspeção a edificação construída, realizada pelo OIA - CERTI em 2010, foram utilizados como base para a comparação entre os procedimentos vigentes e simplificados.

Para a avaliação da edificação pelos procedimentos simplificados, como indica a NT

07 (BRASIL, 2014d), esta foi dividida em 02 blocos: Base e Torre. Como os resultados da inspeção, por sua vez, são anteriores a publicação da NT 07, serão calculados valores médios para cada variável, em cada bloco.

Pelo procedimento simplificado, foi determinada a presença de abertura para a iluminação zenital no primeiro pavimento do bloco da Torre, a qual ocupa uma área determinada em 14,82 m². Como a A_{pcob} definido para a Torre é de 610,05 m², o PAZ foi determinado em 2,43%. O vidro utilizado para a abertura zenital é o mesmo utilizado nas aberturas verticais (vidro laminado azul de baixa refletividade – 8 mm), para o qual o FS, indicado a partir Tabela 13 proposta neste estudo, é 0,36. Tal fato indica que o valor do PAZ atende ao pré-requisito para o nível A. Segundo os resultados apresentados a partir do Relatório de Inspeção da Edificação Construída, elaborado pelo CERTI, foi estabelecido que o pré-requisito é atingido, quando aplicados os procedimentos vigentes.

O Quadro 34 mostra as variáveis calculadas pelos procedimentos simplificados para o Edifício III, enquanto também indica os valores estabelecidos no Relatório de Inspeção para todas as variáveis.

Quadro 34 - Variáveis para a equação do IC_{env} – Edifício III

Variável		Procedimentos Simplificados	Procedimentos Vigentes	Diferença entre os resultados
A_{pcob}	FA	-	0,11	-
A_{tot}				
A_{env}	FF	-	0,16	-
V_{tot}				
PAF _T		0,17	0,14	0,03
PAF _O		-	0,13	-
FS		0,36	0,43	0,07
AVS		8,95°	9,88°	0,93°
AHS		5,21°	12,70°	7,49°

Fonte: Elaborado pela autora.

Quanto ao PAF_T, foi identificado durante a inspeção que a Torre apresenta fachadas do tipo pele de vidro. Foi estabelecida a A_{env} (5.193,30 m²) e a área envidraçada da Torre (1178,20 m²) e aplicado o desconto de esquadria de 8%, como recomendado pelo procedimento simplificado. Tal fato estabeleceu um PAF de 0,18. No caso da Base, por sua vez, foi realizado o mesmo processo, e estabelecido um PAF de 0,14.

O PAF_T determinado durante a Inspeção da Edificação Construída, realizada pelo CERTI, foi de 0,14, para a edificação completa. Portanto, para comparação entre os

procedimentos, foi determinado um PAF_T médio, resultado da ponderação entre as áreas da Envoltória da Base e da Torre. O valor encontrado, após a ponderação foi de 0,17. Conclui-se, portanto, houve diferença entre o PAF_T médio determinado pelo procedimento simplificado e o PAF_T determinado pelo procedimento vigente de 0,03, ou seja, 17,6%.

O tipo de vidro, aplicado às aberturas na fachada, é o mesmo da abertura zenital, do tipo laminado azul de baixa refletividade, ao qual foi estabelecido o FS de 0,36. Durante a Inspeção da Edificação Construída realizado pelo CERTI, por sua vez, o FS estabelecido é de 0,43. A diferença entre os valores é de 0,07, enquanto a variação percentual é de 16,3%.

Quanto aos ângulos de sombreamento, por sua vez, foi indicado, a partir dos parâmetros de aplicação do procedimento simplificado, que a Torre não apresenta sombreamento, portanto AVS e AHS são nulos. No caso da Base, por sua vez, foi atribuído para AVS o valor 45° , pois foi considerada fortemente sombreada e para AHS o valor de $22,5^\circ$, pois foi considerada sombreada.

A partir destes dados, os valores médios de AVS e AHS, para a edificação completa, foram determinados em $8,95^\circ$ e $5,21^\circ$, respectivamente, a partir da ponderação pela área de abertura de cada bloco. Quando comparados aos dados do Relatório de Inspeção da Edificação Construída ($9,88^\circ$ para AVS e $12,70^\circ$ para AHS), observa-se que a variação percentual entre os valores foi de 9,4% para AVS e 41% para AHS, a última alta em relação ao limite de erro estabelecido pelo RAC (BRASIL, 2013a).

Como apresenta A_{pe} de $908,99 \text{ m}^2$, a classificação do nível de eficiência do edifício III, a partir IC_{env} , foi estabelecida de acordo com a equação $A_{pe} > 500 \text{ m}^2$ para todas as ZBs (Quadro 35).

Quadro 35 – IC_{env} e nível de eficiência da Envoltória – Edifício III

Zona Bioclimática	IC_{env} simplificado	Nível de Eficiência IC_{env} simplificado	IC_{env} vigente	Nível de eficiência IC_{env} vigente	Varição do IC_{env} (%)
ZB 01	101,63	A	102,38	A	0,76
ZB 02 e 03	42,28	A	43,14	A	1,95
ZB 04 e 05	139,77	A	132,27	A	5,36
ZB 07	27,76	E	26,41	E	4,86
ZB 06 e 08	71,00	A	65,81	A	7,30

Fonte: Elaborado pela autora.

Os níveis de eficiência estabelecidos referem-se ao IC_{env} calculado de acordo as

variáveis determinadas pelos procedimentos simplificados e pelos procedimentos vigentes, respectivamente. Para a classificação pelos procedimentos simplificados, para as variáveis não calculadas neste estudo, foram considerados os valores indicados pelo Relatório de Inspeção emitido pelo CERTI.

Observa-se que a classificação do IC_{env} não variou em relação aos procedimentos utilizados para a determinação das variáveis, simplificados ou vigentes. Os valores de IC_{env} , por sua vez, não apresentaram variação maior que 7,30%.

5.3.5. Edifício IV: PAF, FS e IC_{env}

As avaliações realizadas no Edifício IV, por sua vez, se referem ao PAF e ao FS. Para a avaliação da edificação, também seguindo a recomendação da NT 07 (BRASIL, 2014d), a edificação foi dividida em Base e Torre.

O Quadro 36 indica as variáveis calculadas pelos procedimentos simplificados para o Edifício IV e ainda os valores estabelecidos no Relatório de Inspeção para todas as variáveis.

Quadro 36 - Variáveis para a equação do IC_{env} – Edifício IV

Variável		Procedimentos Simplificados	Procedimentos Vigentes	Diferença entre os resultados
A_{pcob}	FA	-	0,08	-
A_{tot}				
A_{env}	FF	-	0,18	-
V_{tot}				
PAF_T		0,29	0,30	0,01
PAF_O		-	0,12	-
FS		0,31	0,33	0,02
AVS		-	2,36	-
AHS		-	3,55	-

Fonte: Elaborado pela autora.

Para o cálculo do PAF_T pelo procedimento simplificado, foi identificado durante a inspeção que a Torre e a Base apresentam fachadas do tipo pele de vidro. Foi estabelecida a A_{env} de ambos os blocos, além da área envidraçada. Foi aplicado o desconto de esquadria de 8%. Valores de PAF_T foram estabelecidos em 0,27 para a Base e 30,5 para a Torre.

O PAF_T determinado no Relatório de Inspeção da Edificação Construída, por sua vez, foi determinado em 0,3 para os dois blocos juntos, já que a inspeção foi anterior à publicação da NT 07. Portanto, foi calculado o PAF_T médio, estabelecido a partir da

aplicação do procedimento simplificado, para a comparação. O resultado para a edificação completa é 0,29. A diferença entre os resultados alcançados é de 0,01, enquanto a variação foi de 2,65%.

O tipo de vidro identificado, por sua vez, foi o vidro laminado azul de alta refletividade, ao qual foi atribuído o FS de 0,31, de acordo com a Tabela 13, proposta neste estudo. O vidro determinado durante a Inspeção da Edificação Construída, pelo CERTI, apresenta FS de 0,33. A diferença entre os valores determinados é de 0,04, enquanto a variação entre os resultados é de 6,1%.

Como apresenta A_{pe} de 587,58 m², o cálculo do IC_{env} e a classificação do nível de eficiência do edifício IV foram estabelecidos de acordo com a equação $A_{pe} > 500$ m² para todas as ZBs (Quadro 37). Os níveis de eficiência referem-se ao IC_{env} calculado de acordo as variáveis determinadas pelos procedimentos simplificados e pelos procedimentos vigentes, respectivamente. Para a classificação pelos procedimentos simplificados, para as variáveis não calculadas neste estudo, foram considerados os valores indicados pelo Relatório de Inspeção emitido pelo CERTI.

Quadro 37 – IC_{env} e nível de eficiência da Envoltória – Edifício IV

Zona Bioclimática	IC_{env} simplificado	Nível de Eficiência IC_{env} simplificado	IC_{env} vigente	Nível de eficiência IC_{env} vigente	Variação do IC_{env} (%)
ZB 01	112,97	A	113,31	A	0,30
ZB 02 e 03	73,58	A	74,17	A	0,79
ZB 04 e 05	141,05	A	144,73	A	2,54
ZB 07	48,69	E	49,13	E	0,89
ZB 06 e 08	105,60	A	105,99	A	0,37

Fonte: Elaborado pela autora.

A classificação do IC_{env} , por sua vez, não variou em relação aos procedimentos utilizados para a determinação das variáveis, simplificados ou vigentes. Os valores de IC_{env} , por sua vez, não apresentaram variação maior que 2,54%.

6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente Capítulo apresenta as principais considerações acerca dos resultados alcançados neste estudo. Em seguida, são apresentadas as limitações na realização deste estudo, além das recomendações para trabalhos futuros, os quais possam dar continuidade ao tema, aprofundando em alguns pontos abordados.

6.1. Considerações Iniciais

Este estudo almejou a proposição de procedimentos simplificados para a determinação numérica das variáveis relacionadas aos pré-requisitos da Envoltória e às equações do Indicador de Consumo da Envoltória (IC_{env}), para a avaliação do nível de eficiência energética de edifícios existentes, segundo o Método Prescritivo do RTQ-C.

A motivação para o desenvolvimento deste estudo é justificada pela necessidade de afirmação do processo de etiquetagem de edificações no panorama nacional, já que, há a possibilidade de extensão da obrigatoriedade da obtenção da etiqueta a todas as edificações no Brasil, assim como acontece em países como Portugal. Neste sentido, simplificações aos processos vigentes, ao serem propostas e incorporadas, podem promover a redução do tempo e dos custos, os quais são aplicados no entendimento dos procedimentos e no levantamento de dados sobre as edificações.

O estudo foi dividido em sete capítulos. A partir da Revisão Bibliográfica foi possível entender o panorama mundial e nacional da eficiência energética e da etiquetagem de edificações. Como experiência de certificação ambiental bem sucedida, com alta absorção pelo mercado, foi apresentado o Sistema de Certificação Energética (SCE), de Portugal. Parâmetros utilizados na metodologia simplificada para edificações existentes do SCE foram incorporados, quando aplicáveis, aos procedimentos simplificados propostos por este estudo.

Os procedimentos adotados pelo RTQ-C para a determinação das variáveis e para a avaliação da Envoltória, pelo Método Prescritivo, foram apresentados, a fim de esclarecer as particularidades de cada um. Por sua vez, a partir da análise do perfil dos edifícios etiquetados, até janeiro de 2016, foi possível concluir que o número de etiquetas emitidas é baixo, principalmente no que tange as edificações existentes, tendo em vista o extenso campo edificado nacional. Tal consideração reforça a

hipótese da absorção baixa e lenta da etiquetagem pelo mercado nacional.

Finalmente, foi discutida a avaliação da Envoltória, pelo Método Prescritivo, com o foco em edificações existentes e na possibilidade de simplificações dos procedimentos, sob a ótica das críticas e dúvidas apontadas por pesquisadores e projetistas. A partir dessas discussões, foi possível identificar que o tempo aplicado na avaliação da Envoltória é maior do que o aplicado a avaliação dos outros sistemas abarcados pela etiquetagem comercial. Por esta razão, para a etiquetagem de edificações existentes, pelo Método Prescritivo, simplificações aplicadas aos procedimentos de determinação das variáveis podem contribuir com a diminuição do tempo aplicado, e, até mesmo, viabilizar o processo.

Os procedimentos metodológicos, por sua vez, constaram da proposição de procedimentos simplificados para a avaliação da Envoltória, pelo RTQ-C, além da aplicação destes em estudos de caso. A comparação entre os resultados obtidos pela aplicação dos procedimentos simplificados, frente aos procedimentos vigentes, foi estabelecida quanto às variáveis, o IC_{env} , o nível de eficiência e o tempo de avaliação.

Sendo assim, este trabalho visou contribuir para a possível simplificação dos procedimentos e processos de avaliação adotados pelo RTQ-C e RAC, a fim de promover a aplicação da etiquetagem em larga escala no país.

6.2. Considerações sobre os Resultados Alcançados

Os resultados apresentados nesta dissertação permitiram chegar a uma série de considerações acerca dos procedimentos simplificados propostos, principalmente quanto à precisão dos resultados alcançados e ao tempo de aplicação. Dentre essas considerações destacam-se: a não alteração do nível de eficiência dos edifícios avaliados, quando comparados aos procedimentos recomendados pelo RTQ-C, pelo RAC e pelas normas técnicas, e, a redução do tempo de avaliação dos edifícios.

Quanto à avaliação dos pré-requisitos da Envoltória, não houve alteração entre o nível de eficiência alcançado, para ambos os procedimentos (simplificados e vigentes), na avaliação dos estudos de caso, embora tenha havido variações entre os valores determinados.

A transmitância térmica de paredes e coberturas foi avaliada para os edifícios I e II, e, para o primeiro, a variação entre os resultados determinados com a aplicação dos

procedimentos simplificados e vigentes foi menor que 10%, (valor limite de tolerância estabelecido pelo RAC). Para o Edifício II, contudo, a transmitância térmica de paredes externas e coberturas calculadas apresentou, contudo, variação maior que 10%. Ainda assim, para ambos os edifícios, o pré-requisito foi atendido. Por esta razão, considera-se possível a determinação da transmitância térmica a partir do procedimento simplificado proposto, a partir da avaliação de outros edifícios.

No caso da absorvância à radiação solar, também avaliada para os edifícios I e II, observou-se em ambos os edifícios, uma distinta variação entre os resultados determinados para paredes externas e para coberturas. Todas as superfícies avaliadas, por sua vez, foram categorizadas como superfícies envelhecidas, portanto, o valor determinado pelo procedimento simplificado incorpora o fator de manutenção.

Para as coberturas, a variação foi baixa entre os resultados determinados por medição (ALTA II) e aqueles estabelecidos nas tabelas propostas por este estudo, 10% para o Edifício I e 1,5% para o Edifício II. Entretanto, para as paredes externas, as variações chegaram a 73% (categoria de cor: branco) para as superfícies rugosas e de 17,6% (categoria de cor: amarelo) para superfícies lisas.

A partir destes resultados, recomenda-se que o fator de manutenção seja aplicado nas coberturas e que, para paredes externas, o procedimento seja testado em outras edificações. Quanto às superfícies rugosas, por sua vez, recomenda-se que, os fatores de majoração indicados neste estudo sejam revistos, principalmente para a categoria de cor Branco (1,75), visto que a variação entre os resultados medidos *in loco* e aqueles determinados pela tabela proposta foi significativa. Uma alternativa ao fator de majoração para as superfícies rugosas é a realização da medição, a partir de procedimentos normalizados, de todas as tintas apontadas por este estudo nesta condição de superfície.

Em geral, quando analisados os resultados dos procedimentos aplicados a cada variável das equações de IC_{env} , individualmente, conclui-se que a diferença entre os valores absolutos foi pouco significativa. Todavia, a variação percentual entre os resultados encontrados foi notável para o PAF, variável mais sensível na maioria das equações de IC_{env} , segundo o estudo realizado por Maciel e Carlo (2011).

No caso do PAF, os resultados alcançados a partir da avaliação de fachadas do tipo pele de vidro (desconto de esquadria de 8%) apresentaram uma variação baixa (Blocos A e C do Edifício II, além dos edifícios III e IV). Entretanto, para a avaliação das fachadas com janelas convencionais (Edifício I e Bloco B do Edifício II), o

desconto de esquadria padrão de 10% apresentou-se subestimado, para os edifícios avaliados. Sabe-se que a diminuição da variável PAF interfere na diminuição do valor de IC_{env} . Por esta razão, no caso das janelas convencionais, uma alternativa é recomendada, a fim de obter maior precisão dos resultados. Esta consta da adoção de um procedimento intermediário, no qual, seja utilizada a tabela de Guedes (2012), como já recomendado pelo RAC (BRASIL, 2013a), ou ainda, estabelecida uma nova tabela, que englobe as esquadrias comumente utilizadas em edificações comerciais.

A variação do IC_{env} foi pouco significativa no caso dos edifícios I e II (quando ambos os procedimentos são aplicados a todas as variáveis da Envoltória): variação máxima de 2,60% nas equações para $A_{pe} \leq 500 \text{ m}^2$ (Edifício I) e de 7,86% nas equações para $A_{pe} > 500 \text{ m}^2$ (Edifício II). Os valores de IC_{env} para os procedimentos simplificados, em ambos os edifícios, para as ZBs 01, 02, 03, 06, 07 e 08, foram mais altos quando comparados aos procedimentos vigentes.

No caso dos edifícios III e IV, a variação do IC_{env} foi mais significativa (variação máxima de 7,30%), mesmo quando apenas algumas variáveis foram determinadas pelos procedimentos simplificados. As equações utilizadas para ambos os edifícios foram para $A_{pe} > 500 \text{ m}^2$. Os valores de IC_{env} para os procedimentos simplificados no Edifício III, para as ZBs 01, 02 e 03, foram mais baixos quando comparados aos procedimentos vigentes. Entretanto, no caso das ZBs 04, 05, 06, 07 e 08, do mesmo edifício, os valores de IC_{env} para os procedimentos simplificados foram mais altos. No caso do Edifício IV, todavia, para os procedimentos simplificados, todas as ZBs apresentaram resultados mais baixos quando comparados aos procedimentos vigentes. Tal fato pode ser explicado pela grande influência do PAF nas equações da envoltória, já que o PAF determinado pelos procedimentos simplificados, no caso do Edifício IV, foi menor do que o determinado pelos procedimentos vigentes.

O nível de eficiência das edificações avaliadas, quando analisado o IC_{env} , contudo, não sofreu alteração entre os procedimentos simplificados e vigentes.

Finalmente, o tempo de aplicação dos procedimentos, quando comparados os vigentes e os simplificados, sofreu redução de 88,4% para o Edifício I e de 83% para o Edifício II.

As análises apresentadas, por sua vez, indicam que a precisão dos resultados não foi significativamente alterada, quando aplicados os procedimentos simplificados, enquanto o tempo de análise das edificações foi reduzido consideravelmente. Por esta razão, salvo as considerações já apresentadas sobre cada variável individualmente,

considera-se que os procedimentos simplificados podem ser incorporados para a avaliação da Envoltória, segundo o RTQ-C. Sugere-se, para isso, que os procedimentos simplificados sejam, primeiramente, testados em um maior de edificações existentes.

Assim como na metodologia simplificada adotada pelo SCE, em Portugal, a criação dos procedimentos simplificados para a avaliação da Envoltória não sugere um novo método em substituição ao Método Prescritivo, mas sim, apresenta-se como um recurso, na ausência de uma melhor informação, para a determinação das variáveis envolvidas, com o objetivo de reduzir o tempo de avaliação.

A partir das análises realizadas neste estudo, recomenda-se que sejam fornecidos pelo solicitante da etiqueta, para a avaliação simplificada da Envoltória de edificações existentes, o projeto *as built*, considerando os seguintes documentos e informações:

- Plantas baixas de todos os pavimentos distintos: Com a indicação do Norte geográfico;
- Diagrama de cobertura: Planta ou imagem de satélite. Uma inspeção do pavimento de cobertura, para estabelecer os pré-requisitos, deve ser realizada;
- Fachadas: Com a identificação das superfícies opacas, transparentes e translúcidas.

Além disso, recomenda-se que uma inspeção do edifício para a conferência dos dados e aplicação dos procedimentos visuais seja realizada.

6.3. Limitações na Realização do Estudo

Algumas limitações foram encontradas durante o desenvolvimento deste trabalho. Estas estão relacionadas ao número de edifícios testados e pelo fato destes estarem localizados na cidade de Belo Horizonte – MG, pertencente à ZB 03.

Portanto, o trabalho foi limitado em relação:

- Ao tamanho da amostra. Embora com pelo menos 01 edifício representativo de cada equação da Envoltória ($Ape \leq 500 \text{ m}^2$ e $Ape > 500 \text{ m}^2$), a amostra, estabelecida em quatro edifícios existentes, é pequena quando comparada ao campo edificado nacional. O número de edifícios foi determinado, contudo, de

acordo com a disponibilidade de acesso às informações necessárias para a avaliação das variáveis da Envoltória;

- Localização dos edifícios avaliados. Embora os estudos de caso tenham sido avaliados quanto ao IC_{env} para todas as ZBs, a transmitância térmica de paredes e coberturas foi determinada apenas para os limites estabelecidos para a ZB 03 (ZB onde os edifícios se inserem). A seleção dos edifícios na cidade de Belo Horizonte foi justificada pela facilidade na realização dos levantamentos *in loco*.

6.4. Sugestões para Trabalhos Futuros

A partir dos resultados obtidos e das limitações encontradas na realização deste trabalho, sugere-se alguns aspectos a serem investigados em trabalhos futuros:

- Estabelecer um maior número de composições de paredes externas e coberturas e calcular a transmitância térmica equivalente de cada uma delas, principalmente para os limites estabelecidos para as ZBs 01 e 02;
- Estabelecer o efeito da rugosidade na absorvância média das tintas, a partir de medições, com espectrofotômetro, de amostras rugosas das 60 tintas estabelecidas neste estudo;
- Estabelecer uma tabela com os tipos de janela representativas dos edifícios comerciais e o desconto de esquadrias médio, assim com a tabela desenvolvida por Guedes (2012) para edificações residenciais;
- Aumentar o número de edifícios existentes a serem avaliados pelos procedimentos simplificados, com a aplicação de testes em edificações localizadas em todas as ZBs.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

ADENE. **Relatórios Internos**: Metodologia simplificada para a Certificação de Edificações Existentes pelo Âmbito do SCE. Lisboa, 2013.

ADENE [site]. Disponível em: <<http://www.adene.pt/sce/textofaqs/certificacao-de-edificios>>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2015.

ASHRAE - American Society Of Heating, Refrigerating And Air Conditioning Engineers. **ASHRAE Fundamentals Handbook**. Atlanta, 2001.

_____. **ASHRAE Standard 90.1** –2010. Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. Estados Unidos, 2010. Disponível em: <<https://www.ashrae.org/standards-research--technology/standards--guidelines>>. Acesso em: 26 de fevereiro de 2015.

BRASIL. Lei n. 10295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. **Lex**: Diário Oficial da União. Brasília, 2001. Disponível em: <www.inmetro.gov.br/qualidade/lei10295.pdf>. Acesso em: 26 fevereiro de 2015.

_____. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Rio de Janeiro, 2009a. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/eletrobras/etiquetagem/downloads.php>>. Acesso em: 26 fevereiro de 2015.

_____. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Regulamento de Avaliação da Conformidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Rio de Janeiro, 2009b. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/eletrobras/etiquetagem/downloads.php>>. Acesso em: 26 fevereiro de 2015.

_____. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Rio de Janeiro, 2010a. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/eletrobras/etiquetagem/downloads.php>>. Acesso em: 26 fevereiro de 2015.

_____. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. Rio de Janeiro, 2010b. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/eletrobras/etiquetagem/downloads.php>>. Acesso em: 26 de fevereiro de 2015.

_____. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Requisitos de Avaliação da Conformidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Rio de Janeiro,

2010c. Disponível em:
<<http://www.labeee.ufsc.br/eletrobras/etiquetagem/downloads.php>>. Acesso em: 26 de fevereiro de 2015.

_____. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria n.º 17**, de 16 de janeiro de 2012. Brasília, DF, 2012a.

_____. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. Rio de Janeiro, 2012b. Disponível em: <<http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/residencial/regulamentos>>. Acesso em: 05 de agosto de 2016.

_____. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Portaria n.º 50, de 01 de fevereiro de 2013. **Requisitos de Avaliação da Conformidade para a Eficiência Energética de Edificações**. Brasília, 2013a. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/eletrobras/etiquetagem/downloads.php>>. Acesso em: 26 fevereiro de 2015.

_____. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria n.º 299**, de 19 de junho de 2013. Brasília, DF, 2013b.

_____. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação. **Instrução Normativa n 02**, de 04 de junho de 2014a. Dispõe sobre regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional, e uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nos projetos e respectivas edificações públicas federais novas ou que recebam retrofit. Disponível em:
<<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jps/visualiza/index.jsp?data=05/06/2014&jornal=1&totalArquivos=164>>. Acesso em: 26 fevereiro de 2015.

_____. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria n.º 126**, de 19 de março de 2014. Brasília, DF, 2014b.

_____. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Portaria n.º 50, de 01 de fevereiro de 2013. **Manual para a Aplicação do RAC**. Vol. 4.3. Brasília, 2014c. Disponível em:
<<http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/comercial/manuais>>. Acesso em: 05 agosto de 2016.

_____. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E). Nota Técnica Referente à Etiqueta de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas em Blocos, **NT n.º 07/2014**. Florianópolis, 2014d, 05 p.

_____. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E). Nota Técnica Referente à Absorção de Coberturas com Aplicação de Teto Jardim e Telhas Cerâmicas, **NT n.º 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 15/2015**. Florianópolis, 2015b, 03 p.

_____. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Portaria n.º 50, de 01 de fevereiro de 2013. **Manual para a Aplicação do RTQ-C**. Vol. 4.1. Brasília, 2016. Disponível em: <<http://www.pbenedifica.com.br/etiquetagem/comercial/manuais>>. Acesso em: 05 agosto de 2016.

_____. 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 17/2015**. Florianópolis, 2016b, 02 p.

CÂNDIDO, C. TORRES, S. CABÚS, R. **Análise da Utilização de Prateleiras de Luz em Edifício de Pesquisas da UFAL, Maceió – AL**. In: VIII Encontro Nacional e IV Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Maceió– AL. Anais... Maceió, Alagoas, 2005.

CARLO, J. C. Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envolvimento de Edificações Não-residenciais. **Tese de Doutorado**, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC, UFSC, Florianópolis, 2008.

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

CASALS, X. G. **Analysis of building energy regulations and certification in Europe: their role, limitations and differences**. Energy and Buildings, Oxford, v. 38, p. 381-392, 2006.

CB3E - Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações. **Guia de Medição e Cálculo para Refletância e Absortância Solar em Superfícies Opacas**. Vol. 01 Florianópolis, 2015.

CORNETET, M.C. Recomendações Para Especificação de Vidros em Edificações Comerciais na Região Climática de Porto Alegre-RS. **Dissertação de Mestrado**. Centro de Tecnologia, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, UFSM, Santa Maria, 2009.

COSTA, L; SOUZA, R. V. G. **Relatório Interno: Etiqueta de um Edifício Existente em Belo Horizonte – MG, segundo o RTQ-C**. LABCON/UFMG, Belo Horizonte, 2015

DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. Métodos Alternativos para Identificar a Absortância Solar de Superfícies Opacas. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre: ANTAC, v.07, n.03, p.109- 127, jul./set. 2007.

DORNELLES, K. A. Absortância Solar de Superfícies Opacas: Métodos de Determinação e Base de Dados para Tintas Látex, Acrílica e PVA. 2008. 160 p. **Tese de Doutorado**, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional. **Relatório Síntese: ano base 2015**. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<http://www.cbdb.org.br/informe/img/63socios7.pdf>> Acesso em 12 out. 2016.

GALAFASSI, M. Impacto do Método Prescritivo do RTQ-C no Processo de Projeto Arquitetônico de Edificações: a Visão de Arquitetos em Florianópolis - SC. **Dissertação de Mestrado**, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, UFSC, Florianópolis, 2012.

GALAFASSI, M.; PEREIRA, F. O. R. **Análise Crítico-Reflexiva do Método Prescritivo do Rtg-C sob a Óptica do Projeto Arquitetônico**. In: XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC – VIII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído – ELACAC 2013. Brasília – DF. Anais... Brasília, Distrito Federal, 2013.

GELLER, H.S. **Revolução energética: políticas para um futuro sustentável**. Tradução Maria Vidal Barbosa; revisão técnica Márcio Edgar Sculer. – Rio de Janeiro: Relume Dumará: USAid, 2003.

GIARETTA, R. F.; TEIXEIRA, C. A.; WESTPHAL, F. S. **Processo de Etiquetagem Procel: Dificuldades Encontradas na Aplicação do Método Prescritivo na Fase de Projeto**. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC 2012. Juiz de Fora – MG. Anais... Juiz de Fora, Minas Gerais, 2012.

GOOGLE EARTH [mapas]. Disponível em <[Http://mapas.google.com](http://mapas.google.com)>. Imagem de 2011, acesso em 08 de janeiro de 2016.

GUEDES, A. F. Análise da iluminação natural a partir do “Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Residenciais”: simulação em edifícios multifamiliares de Belo Horizonte. **Dissertação de Mestrado**, Departamento de Tecnologia no Ambiente Construído, EA/UFMG, Belo Horizonte, 2012.

INMETRO. **Tabelas de eficiência de edificações comerciais, de serviço e públicas**. Disponível em: < <http://www.imetro.gov.br/consumidor/pbe/tabelas-comerciais.pdf>>. Acesso em: 20 de maio de 2016.

IEA – International Energy Agency. **Energy Technology Perspectives: Scenarios and Strategies to 2050**. França, 2010. Disponível em: < <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/etp2010.pdf>> Acesso em 20 jan. 2015.

KADERJÁK, P.; MEEUS, L.; AZEVEDO, I.; KOTEK, P.; PATÓ, Z.; SZABÓ, L.; GLACHANT, J.; FOUQUET, D.; VON DER FEHR, N. **Topic 7 -How to Refurbish all Buildings by 2050**. THINK. European University Institute, 2012. Disponível em:<<http://www.eui.eu/Projects/THINK/Documents/Thinktopic/THINKTopic72012.pdf>>. Acesso em 10 de fevereiro de 2015.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª Edição. Eletrobrás. 2014.

LEDER, S.M.; LIMA, E.F.C. **Aplicação do Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios em um Estudo de Caso no Campus da UFPB**. In: XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC 2010. Canela – RS. Anais... Canela, Rio Grande do Sul, 2010.

LEVINSON, R.; AKBARI, H.; KONOPACKI, S. J.; BRETZ, S. Inclusion of cool roofs in non- residential title 24: prescriptive requirements. **Report LBNL-50451**. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2002.

LUCAS, V. S. **Construção Sustentável – Sistema de Avaliação e Certificação** [dissertação]. Departamento de Engenharia Civil. Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa, 2011.

MACIEL, L. F.; CARLO, J.C. **Análise de sensibilidade do Indicador de Consumo Frente às Variáveis das Equações do RTQ-C**. In: XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC – VII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído – ELACAC 2011. Búzios – RJ. Anais... Búzios, Rio de Janeiro, 2011.

MELO, A. P.; CÓSTOLA, D.; LAMBERTS, R.; HENSEN, J. L. M. **Avaliação Comparativa entre o Método Prescritivo e o Método de Simulação para Determinação do Nível de Eficiência da Envolória de Edificações Comerciais**. In: XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC – VII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído – ELACAC 2011. Búzios – RJ. Anais... Búzios, Rio de Janeiro, 2011.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Nacional de Eficiência Energética**. Brasília, DF, 2011. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/PlanoNacEfiEnergetica.pdf>>. Acesso em 09 jun. 2013. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA.

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

PORTUGAL. **Decreto-Lei** nº 79 de 2006. Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios – RSECE, 2006a.

PORTUGAL. **Decreto-Lei** nº 80 de 04 de Abril de 2006. Regulamento das Características do Comportamento Térmico de Edifícios – RCCTE, 2006b.

PORTUGAL. **Nota Técnica SCE – 02**. Metodologia para Auditorias Periódicas de QAI em Edifícios de Serviços Existentes no Âmbito do RSECE. 2009a.

PORTUGAL. **Nota Técnica SCE – 01**. Método de Cálculo Simplificado para Certificação Energética de Edifícios Existentes no Âmbito do RCCTE. 2009b.

PROCEL [site]. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br>>. Acesso em: 04 de agosto de 2016.

RODRIGUES, C. O. M.; DIAS, A. R. D.; OLIVEIRA, P. A.; HAZBOUN, V. D.; MARTINS, M. R.; PACHECO, G. H. S.; CARMO, A. L. C.; PEDRINI, A. **Aplicação da Etiquetagem do Nível de Eficiência Energética de Edifícios RTQ-C**. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC 2012. Juiz de Fora – MG. Anais... Juiz de Fora, Minas Gerais, 2012.

RORIZ, V. F.; DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. **Fatores Determinantes da Absortância Solar de Superfícies Opacas**. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., 2007, Ouro Preto. Anais... Ouro Preto, 2007.

SANTOS, P; RODRIGUES, R. **Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos Opacos da Envolória de Edifícios**. Soluções Construtivas de Edifícios Antigos. ITE

54, 3ª edição, Edições LNEC, Lisboa, 2009. ISBN978-972-49-2180-8.

SCALCO, V.; FONSECA, R.; BECK, E.; PALLADINI, G.; MAIA, T.; ELI, L.; LAMBERTS, R. **Análise Do Potencial De Economia Baseado Em Edificações Comerciais Etiquetadas**. In: XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC. Anais... Maceió, AL, 2014.

VELOSO, A.C.O. **Relatório Interno: Edificações Etiquetadas pelo PBE Edifica (RTQ-C)**. LABCON/UFMG. Belo Horizonte, 2016.

ANEXO I – REVESTIMENTOS DE PAREDES E COBERTURAS (TINTAS)

Tipo	Número	Cor	Nome	α	Tipo	Número	Cor	Nome	α
Acrílica Fosca	01		Amarelo Antigo	51,4	Látex PVA Fosca	40		Branco Gelo	34,0
	02		Amarelo Terra	64,3		41		Erva doce	21,9
	03		Areia	44,9		42		Flamingo	46,8
	04		Azul	73,3		43		Laranja	39,9
	05		Azul Imperial	66,9		44		Marfim	29,7
	06		Branco	15,8		45		Palha	28,5
	07		Branco Gelo	37,2		46		Pérola	25,7
	08		Camurça	57,4	47		Pêssego	39,5	
	09		Concreto	74,5	Acrílica Fosca	48		Alecrim	64,0
	10		Flamingo	49,5		49		Azul bali	48,9
	11		Jade	52,3		50		Branco Neve	10,2
	12		Marfim	33,6		51		Branco Gelo	29,7
	13		Palha	36,7		52		Camurça	55,8
	14		Pérola	33,0		53		Concreto	71,5
	15		Pêssego	42,8		54		Marfim	26,7
	16		Tabaco	78,1		55		Marrocos	54,7
	17		Terracota	64,6		56		Mel	41,8
Acrílica Semi-brilho	18		Amarelo Antigo	49,7		57		Palha	27,2
	19		Amarelo Terra	68,6		58		Pérola	22,1
	20		Azul	79,9		59		Pêssego	35,0
	21		Branco Gelo	36,2		60		Telha	70,8
	22		Cinza	86,4		61		Vanila	23,9
	23		Cinza BR	61,1	Látex PVA Fosca	62		Amarelo Canário	25,2
	24		Crepúsculo	66,0		63		Areia	35,7
	25		Flamingo	47,3		64		Azul Profundo	76,0
	26		Marfim	33,9		65		Branco Neve	16,2
	27		Palha	39,6		66		Branco Gelo	28,1
	28		Pérola	33,9		67		Camurça	53,2
	29		Preto	97,1		68		Cerâmica	65,3
	30		Telha	69,6		69		Concreto	71,6
	31		Terracota	68,4		70		Flamingo	44,4
	32		Verde Quadra	75,5		71		Marfim	24,5
	33		Vermelho	64,2		72		Palha	26,4
Látex PVA Fosca	34		Amarelo Canário	29,3	73		Pérola	22,9	
	35		Amarelo Terra	61,4	74		Pêssego	29,8	
	36		Areia	39,0	75		Preto	97,4	
	37		Azul angra	32,3	76		Vanila	27,7	
	38		Bianco Sereno	26,6	77		Verde Musgo	79,8	
	39		Branco	11,1	78		Vermelho Cardinal	63,3	

* As imagens das cores aqui apresentadas podem não representar com exatidão a cor da tinta quando aplicada sobre as superfícies construtivas.

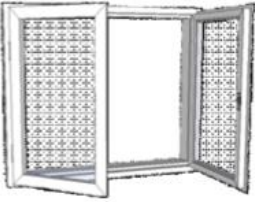
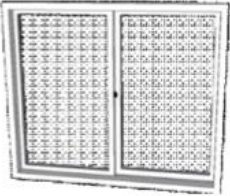

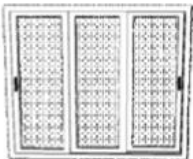
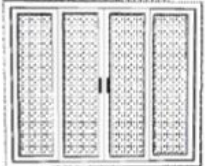

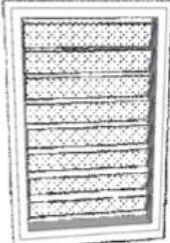
* α : 300 a 2500 nm (Espectro solar total).

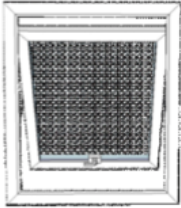
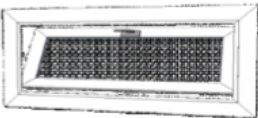
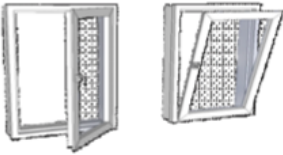
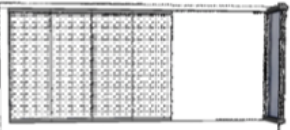



Fonte dos dados de revestimentos de paredes e coberturas (tintas):

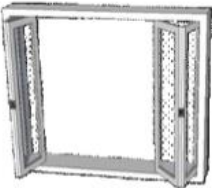
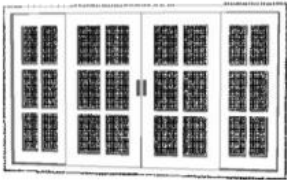
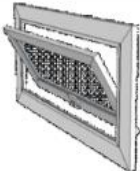
DORNELLES, Kelen Almeida. **Absortância solar de superfícies opacas**: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA. 2008. 160p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

Fonte: RAC (2013a).

ANEXO II – DESCONTO DE ESQUADRIAS

Nº	Tipo de janela	Ilustração	% abertura para iluminação natural	% abertura para ventilação natural
1	abrir 90º (ou de giro) 1 ou 2 folhas		90	90
2	de correr (ou deslizante) 2 folhas		80	45
3	de correr (ou deslizante) 3 folhas sendo 2 venezianas		45	45
4	de correr (ou deslizante) de 3 folhas móveis		75	60
5	de correr (ou deslizante) 4 folhas (2 fixas e 2 móveis)		70	40
6	Basculante		65	70 (i=45°) / 90 (i=90°)
7	Basculante sem esquadria		80	80

N°	Tipo de janela	Ilustração	% abertura para iluminação natural	% abertura para ventilação natural
8	Maxim-ar (abertura 90°)		80	80
9	Tombar		90	60 (i=45°) / 90 (i=90°)
10	Oscilobatente (Tombar e abrir)		90	90
11	Cortina de vidro		95	95
12	Guilhotina tripla (2 folhas móveis e 1 fixa)		75	60
13	Guilhotina dupla (2 folhas móveis)		80	40
14	de correr (ou deslizante) com 2 folhas e persiana integrada		75	40

N°	Tipo de janela	Ilustração	% abertura para iluminação natural	% abertura para ventilação natural
15	tipo camarão		90	90
16	Pinázio		60	40
17	Pivotante		90	90

Observação: os percentuais de abertura para iluminação e ventilação de janelas diferentes das constantes na tabela devem ser calculados desconsiderando os caixilhos.

Fonte: RTQ-R (2012b).