

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Matheus Hickmann da Silveira

**ADAPTAÇÃO DO PROJETO DE UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL
MULTIFAMILIAR EM PORTO ALEGRE PARA OBTENÇÃO DO NÍVEL
“A” DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA SEGUNDO CRITÉRIOS DO RTQ-R.**

Porto Alegre
julho 2017

MATHEUS HICKMANN DA SILVEIRA

**ADAPTAÇÃO DO PROJETO DE UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL
MULTIFAMILIAR EM PORTO ALEGRE PARA OBTENÇÃO DO NÍVEL
“A” DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA SEGUNDO CRITÉRIOS DO RTQ-R.**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de
Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do
título de Engenheiro Civil

Orientador: **Miguel Aloysio Sattler**

Relator: **Luis Carlos Bonin**

Porto Alegre
julho 2017

MATHEUS HICKMANN DA SILVEIRA

**ADAPTAÇÃO DO PROJETO DE UMA EDIFICAÇÃO
RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR EM PORTO ALEGRE
PARA OBTENÇÃO DO NÍVEL “A” DE EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA SEGUNDO CRITÉRIOS DO RTQ-R.**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador da atividade de ensino - Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, julho de 2017

Prof. Miguel Aloysio Sattler
PhD. pela University of Sheffield
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Prof. Luis Carlos Bonin (UFRGS)
Mestre pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Maurício C. Ayres Torres (UFRGS)
Doutor pela Universidade Politécnica da Catalunha

Prof. Miguel Aloysio Sattler (UFRGS)
PhD. pela University of Sheffield

Dedico este trabalho a meus pais, Clary e Sergio, e a minha irmã, Giulliana, que sempre torceram pelas minhas conquistas e estiveram ao meu lado fornecendo todo suporte e carinho que me trouxeram até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor Miguel Aloysio Sattler, orientador deste trabalho, pelos poucos, porém muito proveitosos momentos de elucidação dos temas desenvolvidos neste trabalho e pela prontidão no esclarecimento de dúvidas e passagem de conhecimento.

Agradeço aos professores da UFRGS por todos os ensinamentos compartilhados e pela dedicação empenhada ao longo dos longos anos da graduação.

Agradeço aos professores da London South Bank University que, durante o ano em que estive no Reino Unido, me fizeram enxergar algumas lacunas que a nossa engenharia deve perseguir incessantemente para aprimorar a nossa sociedade.

Agradeço aos profissionais da Melnick Even que ao longo de mais de dois anos da minha graduação estiveram agregando conhecimentos e permitindo utilizar, na prática, diversos aprendizados obtidos nas salas de aula.

Agradeço aos amigos que fiz no intercâmbio por me mostrarem a riqueza que diferentes pontos de vista podem trazer para um convívio em grupo e por terem conhecido o mundo comigo.

Agradeço aos amigos que fiz na UFRGS, dos mais variados semestres e dos mais variados cursos. Juntos vivenciamos as mais diversas sensações acadêmicas possíveis, das angústias às celebrações. Em especial agradeço ao grupo “Panamera”, que transcendeu os limites da universidade e criou o mais confortável ambiente hostil que eu conheço.

Agradeço aos meus amigos da vida por serem as pessoas incríveis que são e, para os que estão longe, agradeço por saber que podemos contar uns com os outros não importa o que aconteça.

Agradeço a minha namorada, Gabrieli, pela paciência e amor dedicado ao nosso relacionamento que amadurece a cada dia da maneira mais saudável possível.

Finalmente, agradeço aos meus pais, Clary e Sergio, e a minha irmã, Giulliana, por serem o motivo pelo qual todo o resto vale a pena. Sem o amor incondicional de vocês e os exemplos de caráter e coragem que vocês me ensinaram eu não seria a pessoa que sou. Serei eternamente grato por isso.

Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades,
lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram
conquistadas do que parecia impossível.

Charles Chaplin

RESUMO

Dentro da conjuntura global da escassez de recursos naturais surge, nas mais variadas células da sociedade, uma demanda forte por soluções que otimizem o consumo e a operação das necessidades humanas. Em relação às habitações, as certificações ambientais se mostram uma ferramenta propícia a estimular o melhoramento do processo de construção e ocupação das edificações, guiando melhorias e medindo desempenhos. O presente trabalho utilizou o método prescritivo do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE Edifica) para avaliar a eficiência energética de um edifício residencial multifamiliar localizado em Porto Alegre e propor adaptações no projeto que o levassem à obtenção do nível máximo na sua classificação de eficiência. Os primeiros resultados com base nas definições originais de projeto levaram a um desempenho nível “C” e, após algumas proposições de alterações, foi possível elevar a eficiência medida para nível “A”. Durante o levantamento das informações do projeto e a manipulação dos dados com as planilhas e equações do regulamento, concluiu-se que o método possui algumas ponderações que distribuem de forma não clara os pesos dos sistemas avaliados. Todavia, entende-se que o RTQ-R pode ser uma ferramenta de grande auxílio no aprimoramento das novas edificações do país, principalmente pela familiaridade do programa de etiquetagem que já é implantado em outras indústrias e por criar um padrão nacional de avaliação.

Palavras-chave: Eficiência Energética de Edificações. Conforto Térmico de Edificações. PBE Edifica. RTQ-R. Procel. Certificação Energética.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição etária da população - Brasil - 2010 e 2040	15
Figura 2 – Etapas do trabalho de conclusão de curso	20
Figura 3 – Cronograma de execução das etapas do trabalho	20
Figura 4 – Green building e sustainable building	22
Figura 5 – Custo e capacidade de mudança sobre o projeto ao longo do tempo	24
Figura 6 – Selo BREEAM®	26
Figura 7 – Selo LEED®	27
Figura 8 – Selo AQUA-HQE	28
Figura 9 – Selo Casa Azul	28
Figura 10 – Condução térmica	30
Figura 11 – Convecção térmica	31
Figura 12 – Radiação térmica	31
Figura 13 – Ventilação natural	32
Figura 14 – Zonas bioclimáticas brasileiras	34
Figura 15 – ENCE de Projeto da Unidade Habitacional Autônoma	41
Figura 16 – ENCE de Projeto das Áreas de Uso Comum	42
Figura 17 – ENCE de Projeto da Edificação Multifamiliar	42
Figura 18 – Planta de localização do empreendimento	44
Figura 19 – Apartamentos sobre pilotis vs. apartamento sobre áreas fechadas	45
Figura 20 – Localização dos apartamentos (UHs)	46
Figura 21 – Planilha PBE Edifica - Análise da Envoltória e Pré-Requisitos	63
Figura 22 – Planilha PBE Edifica - Análise classificação Final UH	64
Figura 23 – Numeração das possíveis combinações de materiais nas paredes	69
Figura 24 – Distribuição das áreas de laje vegetada na cobertura	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação do nível de eficiência de acordo com a pontuação obtida	49
Tabela 2 – Coeficientes da equação 1	50
Tabela 3 – Pré-requisitos de absorvância, transmitância térmica e capacidade térmica para as diferentes Zonas Bioclimáticas	51
Tabela 4 – Percentual de áreas mínimas para ventilação em relação à área útil do ambiente	52
Tabela 5 – Áreas dos ambientes de permanência prolongada (APP)	65
Tabela 6 – Propriedades das aberturas	66
Tabela 7 – Áreas de paredes e aberturas - Apartamento 2D	66
Tabela 8 – Áreas de paredes e aberturas - Apartamento 3D	66
Tabela 9 – Propriedades físicas dos materiais/sistemas empregados na edificação	68
Tabela 10 – Cálculo das propriedades da parede nº 3 através da ponderação dos sistemas que a formam	69
Tabela 11 – Capacidades térmicas dos APPs (kJ/m ² .K)	70
Tabela 12 – Classificação final da edificação	72
Tabela 13 – Classificação da edificação após instalação de sistema de aquecimento de água	74
Tabela 14 – EqNumEnv do projeto original	75
Tabela 15 – EqNumEnv após inclusão de persiana na janela da sala	76
Tabela 16 – Classificação final da edificação após modificações propostas	76

LISTA DE SIGLAS

BREEAM - *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*

CNI – Confederação Nacional da Indústria

ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

GBC - *Green Building Council*

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

LBC – *Living Building Challenge*

LEED – *Leadership in Energy & Environmental Design*

PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

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

UH – Unidade Habitacional

ZEB – *Zero Energy Building*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	17
2.1 OBJETIVOS	17
2.1.1 Objetivo principal	17
2.1.2 Objetivos secundários	17
2.2 DELIMITAÇÕES.....	17
2.3 LIMITAÇÕES	17
2.4 DELINEAMENTO.....	18
3 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL	21
3.1 IMPACTO DA INDÚSTRIA	22
3.2 GERENCIAMENTO DE PROJETOS SUSTENTÁVEIS	23
3.3 CERTIFICAÇÕES.....	25
3.3.1 BREEAM® (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)	26
3.3.2 LEED® (Leadership in Energy and Environmental Design)	27
3.3.3 AQUA-HQE (Alta Qualidade Ambiental)	27
3.3.4 Casa Azul	28
4 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CONFORTO TÉRMICO	29
4.1 PROPRIEDADES BÁSICAS.....	30
4.1.1 Condução	30
4.1.2 Convecção	30
4.1.3 Radiação	31
4.1.4 Ventilação Natural	32
4.1.5 Absortância	32
4.1.6 Capacidade Térmica	33
4.1.7 Transmitância Térmica	33
4.2 FATORES DETERMINANTES	33
4.2.1 Sítio de implantação	33
4.1.2 Envoltória construtiva	36

4.1.3 Usuário	37
5 PBE EDIFICA	38
5.1 ETIQUETAGEM.....	39
5.1.1 Etiquetas para edificações comerciais, públicas e de serviços	40
5.1.2 Etiquetas para edificações residenciais	40
6 EDIFICAÇÃO OBJETO DE ESTUDO	43
6.1 LOCALIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO	43
6.2 CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO	44
7 METODOLOGIA	48
7.1 PROCEDIMENTO PARA DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	48
7.1.1 Unidades Habitacionais Autônomas	49
7.1.2 Edificações Multifamiliares.....	50
7.2 ENVOLTÓRIA.....	50
7.2.1 Pré-Requisitos da Envoltória	50
7.2.2 Determinação do Equivalente Numérico da Envoltória.....	54
7.3 SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA.....	57
7.3.1 Pré-Requisitos do Sistema de Aquecimento de Água	57
7.3.2 Determinação do Equivalente Numérico do Sistema de Aquecimento de Água... 57	
7.3.3 Sistema de Aquecimento a Gás	57
7.4 BONIFICAÇÕES	58
7.4.1 Ventilação Natural (até 0,40 pontos).....	59
7.4.2 Iluminação Natural (até 0,30 pontos).....	59
7.4.3 Uso Racional da Água (até 0,20 pontos)	60
7.4.4 Condicionamento Artificial de Ar (até 0,20 pontos).....	61
7.4.5 Iluminação Artificial (até 0,10 pontos).....	61
7.4.6 Ventiladores de Teto (0,10 pontos).....	62
7.4.7 Refrigeradores (0,10 pontos).....	62
7.4.8 Medição Individualizada (0,10 pontos).....	62
7.5 PLANILHA DE CÁLCULO DE DESEMPENHO	62
8 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	65
8.1 ENVOLTÓRIA.....	65

8.1.1 Área dos ambientes	65
8.1.2 Esquadrias	65
8.1.3 Áreas de paredes de aberturas.....	66
8.1.4 Propriedades físicas dos componentes construtivos	67
8.2 SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA	71
8.3 BONIFICAÇÕES	71
8.4 CLASSIFICAÇÃO DA EDIFICAÇÃO	72
9 PROPOSTAS DE MELHORIAS	73
9.1 SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA.....	73
9.2 ENVOLTÓRIA.....	75
9.3 CLASSIFICAÇÃO DA EDIFICAÇÃO	76
10 CONCLUSÕES	77
11 REFERÊNCIAS.....	79

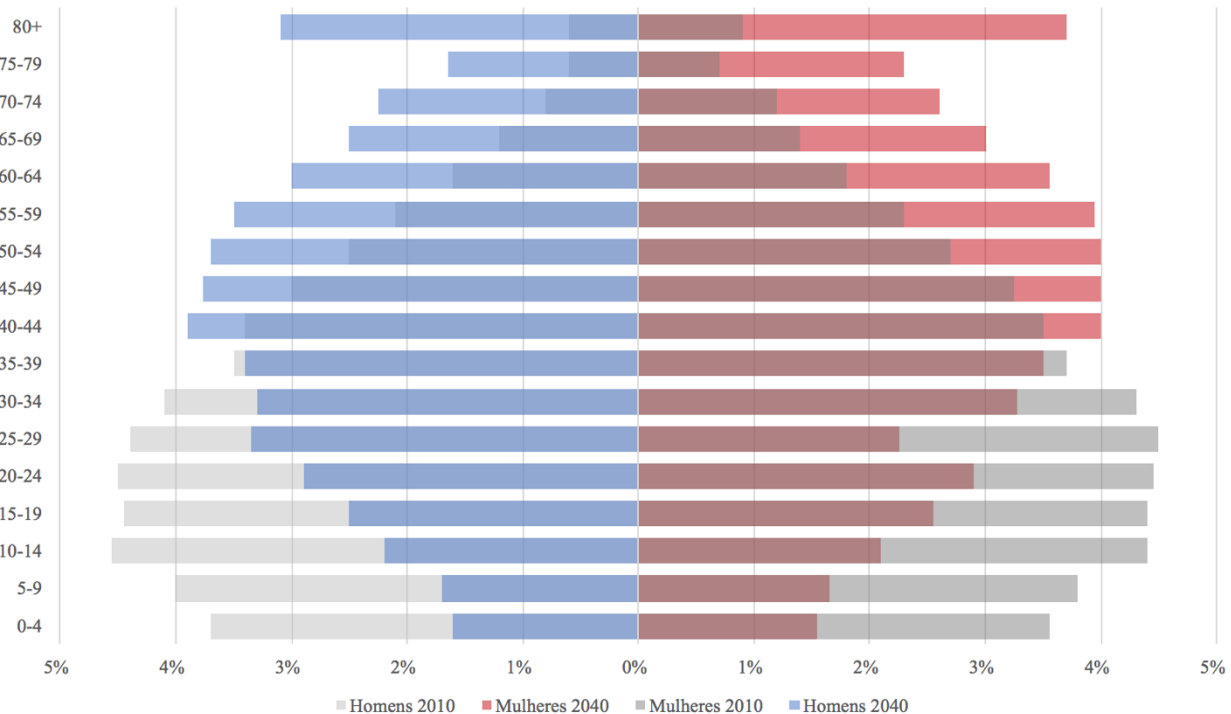
1 INTRODUÇÃO

O compromisso da sociedade com questões ambientais tem se tornado cada vez menos latente e hoje, inevitavelmente, já é recorrente em discussões em diversos meios sociais. A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, em 1992, no Rio de Janeiro, teve como um dos seus principais resultados a Agenda 21, um instrumento de planejamento que serve de guia para políticas e ações que promovam o desenvolvimento sustentável do país. De acordo com um documento de discussão da Agenda 21, da Comissão de Defesa do Consumidores, Meio Ambiente e Minorias da Câmara dos Deputados (1995), tais políticas devem atender para os elos existentes entre as tendências e os fatores demográficos, a utilização dos recursos, a difusão das tecnologias adequadas e o desenvolvimento. Sob esta premissa, são imprescindíveis a análise da relação entre a expansão demográfica e o aumento da demanda de espaço construído, assim como das alterações de comportamento cultural e as novas necessidades de consumo de recursos.

Segundo um comunicado do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) (2012), a população brasileira atingirá seu máximo em 2030 e com grande alteração da distribuição etária, conforme a figura 1. Aliada a esta tendência está a diminuição da idade média de compra do primeiro imóvel. Segundo dados levantados pela construtora MRV, 26% das compras são realizadas por pessoas entre 21 e 25 anos; 29% por pessoas de 26 a 30 anos; e 44% por pessoas acima de 30 anos. Se mantidos e confirmados estes números, haverá um significativo aumento da demanda por habitação durante os próximos anos no país, impulsionado pelo ingresso massivo de pessoas na faixa de população ativa e que está adquirindo imóvel.

Esse incremento da população e da quantidade de moradias impacta diretamente no consumo energético e, conseqüentemente, no uso de recursos naturais para a sua geração. De acordo com o relatório do Balanço Energético Nacional, em 2015, a eletricidade foi responsável por 45,2% do total de energia utilizada no setor residencial; 91,6%, no setor comercial; e 92,2%, no setor público. Além disso, 25,1% da eletricidade gerada no país é destinada para o setor residencial; 17,5%, para o comercial; e 8,2%, para o setor público. Ou seja, aproximadamente metade da energia elétrica produzida no país é utilizada em edificações.

Figura 1 - Distribuição etária da população - Brasil - 2010 e 2040



(fonte: elaborado pelo autor)

Esse consumo energético elevado pode se tornar insustentável a longo prazo devido às incertezas da disponibilidade de recursos naturais com custo baixo. Dessa maneira, o projetista exerce uma função vital para buscar um equacionamento entre função, custo e interferência no meio. Corbella e Yannas (2003) [4] dizem que, o arquiteto, nas etapas de concepção do projeto, deve examinar as estratégias bioclimáticas e o planejamento da construção considerando o local, as características funcionais da edificação, os recursos para conservação de energia e a qualidade das soluções espaciais. Para um prédio ser considerado ambientalmente sustentável, por exemplo, o uso de energia ao longo do ciclo de vida do mesmo deve ser baixo, além de considerar o reuso de materiais no final de sua vida útil (BLAUERT; ZADEK, 1998).

Diante desse cenário, o governo vem tomando medidas com o intuito de estimular e padronizar um sistema de avaliação de conservação de energia. Em 2003, foi criado o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações, o Procel Edifica, que, posteriormente, tornou-se o PBE Edifica, programa que está em prática hoje. Dentro da atmosfera residencial, o programa possui uma abordagem específica, compreendida no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de

Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), que dá as diretrizes necessárias para enquadramento das edificações dentro dos níveis de eficiência do programa.

O presente trabalho vai analisar uma edificação residencial multifamiliar utilizando um método prescritivo, para compreender o comportamento energético e, juntamente com o RTQ-R, promover o enquadramento do projeto nos parâmetros do programa de etiquetagem PBE Edifica. Posteriormente, serão propostas adaptações de projeto que tornem a edificação avaliada apta para receber o nível “A” de eficiência. Uma das contribuições deste estudo é fornecer às empresas dados e parâmetros que possam auxiliar na tomada de decisões relacionadas a investimentos em sustentabilidade de edificações, apresentando um panorama geral do processo de etiquetagem e entendendo os esforços necessários para se obter um bom desempenho.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 OBJETIVOS

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundário e são descritos a seguir.

2.1.1 Objetivo principal

O objetivo principal do estudo é buscar soluções no projeto de uma edificação residencial multifamiliar, em Porto Alegre, para obtenção do nível “A” de eficiência energética no programa PBE Edifica.

2.1.2 Objetivos secundários

- a) descrição dos parâmetros de avaliação do RTQ-R.
- b) obtenção de dados do comportamento energético do projeto, a partir dos resultados parciais obtidos com os cálculos do método aplicado.
- c) obtenção do nível de eficiência energética do projeto original, nos parâmetros do programa PBE Edifica.
- d) proposição de alterações que adequem o projeto aos requerimentos necessários para obtenção do nível “A” de eficiência energética no programa PBE Edifica.

2.2 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se à análise da eficiência energética de um projeto de uma edificação residencial multifamiliar em Porto Alegre.

2.3 LIMITAÇÕES

- a) utilização apenas do método prescritivo previsto no regulamento.
- b) a análise será limitada às áreas privativas da edificação; ou seja, apenas serão objeto de verificação da eficiência energética as unidades habitacionais do empreendimento.

- c) não será alterada a volumetria externa do projeto original.
- d) propriedades físicas dos materiais e sistemas construtivos não serão obtidos por ensaio, mas sim, pela literatura.

2.4 DELINEAMENTO

O trabalho será desenvolvido através das etapas apresentadas a seguir e descritas nos próximos parágrafos.

- a) pesquisa bibliográfica.
- b) escolha da edificação modelo.
- c) levantamento de dados.
- d) modelagem e simulação do modelo.
- e) aplicação do regulamento.
- f) estudo de possíveis alterações.
- g) verificação das alterações propostas.
- h) análise final e conclusões.

Inicialmente, o trabalho empreende uma revisão bibliográfica, a fim de prover embasamento teórico e científico para o entendimento e aplicação do método e sua posterior análise. Essa etapa será essencial para o desenvolvimento do trabalho e se manterá ao longo do mesmo, a fim de manter o conhecimento teórico sempre atualizado.

Já de posse dos pré-requisitos necessários para o desenvolvimento do estudo foi realizada a procura e escolha de um empreendimento que corresponda a estas características. Posteriormente, iniciará-se a coleta de dados da respectiva edificação, para possibilitar o entendimento e modelagem do modelo. Serão recolhidas informações sobre os projetos arquitetônicos, materiais e métodos executivos e orçamento.

A partir das propriedades volumétricas e físicas da edificação foi feita uma análise, pelas ferramentas previstas no regulamento, e inseridas as informações referentes aos padrões bioclimáticos das unidades habitacionais. Esta análise terá sua complexidade limitada pelas variáveis que compõem as equações e, além disso, áreas comuns não serão consideradas para o

cômputo geral da pontuação. Finalizada a inserção de informações no programa, dar-se-á início à coleta de resultados e interpretação dos dados.

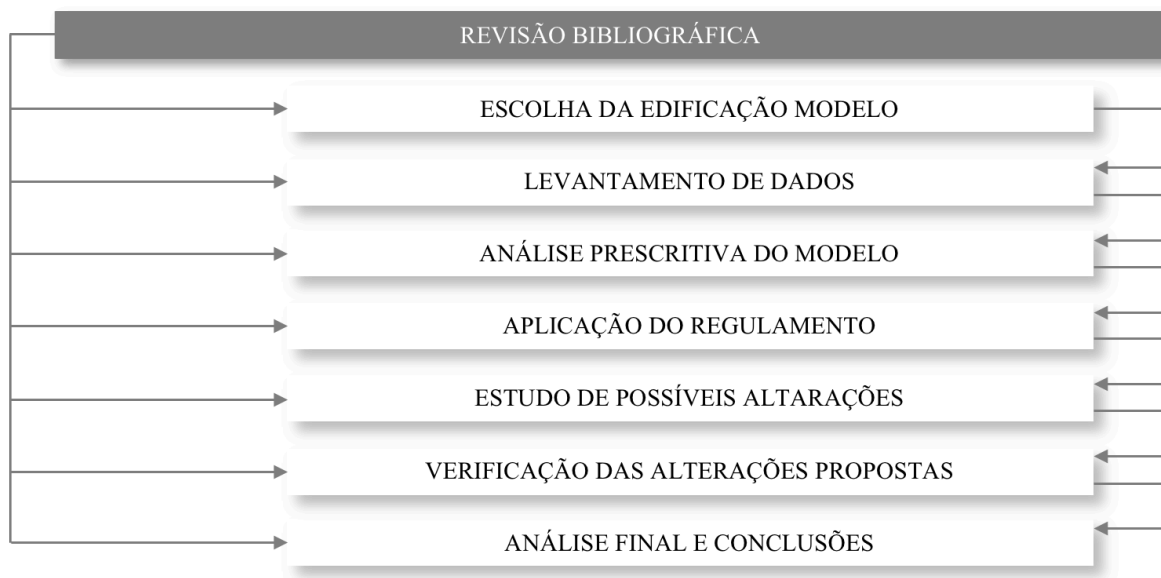
De posse dos resultados, será aplicado o regulamento para análise e cálculo do nível de eficiência energética das habitações individualmente e, a seguir, coletivamente. Esta etapa irá enquadrar o modelo dentro das classificações previstas no programa de etiquetagem PBE Edifica e tornará padronizada a compreensão da sua eficiência perante as diretrizes do selo.

Como é esperado um resultado aquém do nível máximo de eficiência, prevê-se que serão realizados estudos que levem a uma proposta exequível de alteração de projeto, para que se obtenha uma melhora da configuração energética e térmica e, por conseguinte, uma melhor classificação no programa, almejando o nível “A” de eficiência.

Definidas as alterações planejadas, serão atualizadas as informações, dados e valores que alimentam as ferramentas de análise. Este processo será iterado até que se obtenha, a partir dos resultados dos cálculos, o padrão de eficiência esperado.

Finalmente, serão analisados qualitativa e quantitativamente os resultados obtidos no final e ao longo do estudo. Estes resultados serão interpretados utilizando-se de toda bagagem teórica adquirida ao longo deste trabalho e da experiência do autor. Além disso, serão consultados profissionais e acadêmicos que estão familiarizados com o tema, para enriquecer as conclusões que virão a ser obtidas. As etapas descritas podem ser visualizadas esquematicamente na figura 2.

Figura 2 – Etapas do trabalho de conclusão de curso



(fonte: elaborado pelo autor)

3 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A indústria da construção civil é amplamente vista como uma das que mais agride o meio ambiente através do exercício de suas atividades. Até a década de 70, a preocupação com o desempenho ambiental de edifícios era extremamente baixa e praticamente não existia fomento para o desenvolvimento deste campo. Os projetos eram empreendidos sob a premissa de que havia oferta quase ilimitada de recursos e o planeta tinha capacidade infinita de absorver rejeitos e emissões. Esta condição era observada, tanto para a concepção e construção, quanto para a operação dos empreendimentos.

No entanto, com a crise do petróleo e o aumento do custo da produção de energia houve um primeiro momento de preocupação com relação à eficiência das edificações. Estas passaram a ser projetadas para um consumo menor de energia, quando, muitas vezes, a estratégia era reduzir sistemas de ventilação e iluminação dos ambientes. Em seguida, durante os anos 80, essa busca pela redução do consumo se mostrou ineficiente, da maneira como estava sendo realizada, pois muitas pessoas passaram a apresentar sintomas de doenças que desapareciam quando deixavam de ocupar os edifícios. Em 1984, a Organização Mundial de Saúde fez um estudo sobre estes casos e passou a designá-los de Síndrome do Edifício Doente, criando um novo conceito em eficiência de edificações, que assume que o serviço principal do edifício não pode ser prejudicado para reduzir o seu consumo.

Logo em seguida, em 1987, a Organização das Nações Unidas publicou um relatório chamado Nosso Futuro Comum, que elaborou o seguinte conceito de sustentabilidade: “Desenvolvimento sustentável é aquele que busca as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender suas próprias necessidades”. No início dos anos 90 também ocorreu, no Rio de Janeiro, a RIO-92, abordando temas como energia, água, extração de matéria-prima, resíduos sólidos e líquidos, poluição atmosférica, saúde e segurança, fauna, flora, etc. Todas conferências possuindo alcance mundial, para debater e aprimorar os conceitos e estratégias de sustentabilidade.

A construção civil acompanhou esta evolução e passou a se adaptar para aprimorar o seu processo construtivo. Recentemente surgiu o conceito de ZEB (*Zero Energy Building*), que é utilizado para caracterizar um edifício que produz toda energia que consome, sem demandar da rede. Outro

conceito também recente é o LBC (*Living Building Challenge*), desenvolvido pelo *International Living Future Institute*, que sugere uma filosofia diferente de desenvolvimento, que atente principalmente para o desempenho da edificação durante a tomada de decisão do projeto e não para as implicações mercadológicas envolvidas.

3.1 IMPACTO DA INDÚSTRIA

A extensa cadeia produtiva da indústria da construção civil a leva a um enorme desafio, quando se trata da busca por práticas sustentáveis. Não se pode resumir a análise do seu impacto apenas ao que acontece dentro do canteiro de obras; o processo, como um todo, é extenso e complexo. Além de estudar requisitos de eficiência energética, os impactos sociais também são relevantes e devem entrar para a análise. A Confederação Nacional da Indústria (2011) elenca aspectos que diferenciam os conceitos de *Green Building* e *Sustainable Building* conforme a figura abaixo.

Figura 3 - *Green building e sustainable building*



(fonte: CNI, 2012)

Sob esta perspectiva, nota-se a contribuição de uma edificação, não apenas na sua fase inicial, mas sim, ao longo de todo o seu ciclo de vida. Baseado nisso, um relatório da Confederação Nacional

da Indústria (2012) ressalta a importância de despertar uma cultura proativa entre os projetistas, para alinhar os trabalhos sob o mesmo objetivo, de forma a assegurar o desempenho e impacto esperados.

Além disso, o relatório também elenca alguns temas prioritários, que servem como diretrizes para uma análise não tão abrangente, mas suficientemente representativa dos parâmetros sustentáveis. Estes temas são os principais adotados pelas políticas e programas governamentais para a construção civil e estão mais próximos da realidade da indústria brasileira. Os temas prioritários de impactos da construção civil, segundo o relatório, são:

- a) Qualidade e produtividade;
- b) Resíduos de construção e demolição;
- c) Eficiência energética;
- d) Uso racional da água;
- e) Materiais e sistemas construtivos;
- f) Uso responsável da madeira;
- g) Avaliação ambiental de edifícios; e
- h) Consumo sustentável.

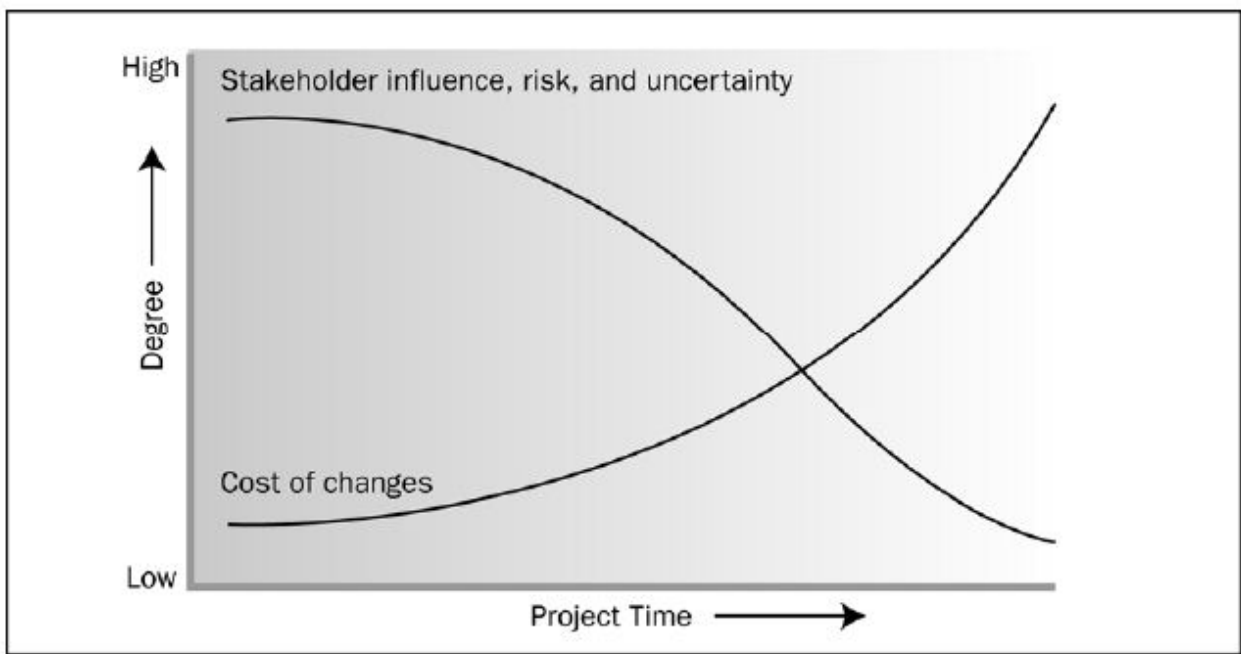
3.2 GERENCIAMENTO DE PROJETOS SUSTENTÁVEIS

Segundo Cole (1998), a definição de performance para uma edificação varia de acordo com os diferentes interesses das partes envolvidas no desenvolvimento do edifício. É possível que uma parte esteja esperando uma performance financeira, enquanto outra esteja interessada em uma performance do ponto de vista de conforto térmico. Conciliar estas diferentes necessidades das partes envolvidas e desenvolver um método que atenda a todas não é uma tarefa fácil. Portanto, o modelo ideal é aquele que contempla de forma satisfatória todo este cenário.

Considerando esses vários pontos de interesse, o desempenho ambiental passa a ser um critério fundamental na concepção de um projeto, uma vez que vem se adquirindo cada vez mais conhecimento em relação aos impactos causados pela construção civil ao meio ambiente (WANG

et al., 2005). Todavia, para garantir o atendimento deste desempenho é fundamental que haja um trabalho forte de gestão de projetos, assegurando que as decisões sejam concisas e tomadas no momento certo, de forma a viabilizar a implantação dos mecanismos que levarão o projeto a atender ao que se propõe. Ding (2008) mostra que são nos primeiros estágios de desenvolvimento do produto e concepção do projeto que a sustentabilidade pode ser alcançada com maior eficácia. Isso se deve ao fato de que a viabilidade do empreendimento ainda está sendo considerada e os projetos ainda estão em fase inicial, o que facilita a alteração e adaptação de novas estratégias sustentáveis. É o mesmo princípio exemplificado no PMBOK, no que diz respeito à capacidade de influenciar alterações sobre um projeto, comparado ao custo necessário para tal, ao longo das suas etapas de concepção e execução (figura 5).

Figura 4 - Custo e capacidade de mudança sobre o projeto ao longo do tempo



(fonte: PMI, 2008)

Desta forma, ao introduzir considerações sobre o desempenho energético da edificação na fase inicial de projeto, novos parâmetros passam a ser considerados, ou a hierarquia usual dos existentes é modificada de maneira a cumprir as novas diretrizes (MASCARÓ; MASCARÓ, 1992). Essa antecipação permite criar soluções mais eficientes e eficazes, tornando viável o emprego destas soluções em cada vez mais empreendimentos.

3.3 CERTIFICAÇÕES

Ao passo que as preocupações com relação ao desempenho das edificações foram ganhando maior relevância ao longo dos anos, ferramentas que auxiliariam a criar padronizações e referências para a respectiva verificação do atendimento das melhorias nas edificações se tornaram necessárias para a indústria. Os profissionais sentiram necessidade de estipular requisitos que determinariam se um empreendimento é sustentável ou não. As avaliações que medem o quão sustentável é a edificação consideram uma lista de desempenhos mínimos em áreas, como: gerenciamento do canteiro de obras, eficiência energética, economia de água, qualidade interna do ar, materiais, transportes, aquecimento global, desperdício e poluição (NG et al., 2013). Whitehead et al. (2014) abordam que estas áreas devem sofrer ajustes ponderados, correspondentes à magnitude dos impactos ambientais que elas representam, determinando, assim, uma média final que irá inserir a edificação em uma faixa de desempenho específica.

Por mais que pareçam ser essenciais para se entender e medir o tipo de impacto que um edifício está causando, as certificações ainda avançam de maneira tímida na indústria brasileira. Segundo Medeiros (2011), a porcentagem de edifícios certificados, com relação ao total de empreendimentos lançados, corresponde a 1% no mercado nacional, enquanto nos Estados Unidos este número sobe para 9%. Ainda segundo o autor, existe um longo caminho a ser percorrido para a disseminação em massa desse comportamento, passando pela redução de custos, vinculados com o processo de certificação em si, até a mudança de cultura de boa parte dos empreendedores, que ainda tem desconfianças e ceticismos sobre a realização destas mudanças. Mesmo assim, o Brasil ainda ocupa a 4ª posição mundial do ranking de registros, com 380 certificações concedidas, desde o primeiro edifício, em 2007 (GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL, 2016).

Todavia, a demanda por este mecanismo de medição e comparação estimulou o desenvolvimento de diferentes métodos de certificação, gerando um cenário em que não há um padrão universal. Um empreendimento certificado por um método pode não obter o mesmo resultado em outro. Mateus (2009) destaca que o conceito sustentável continua ambíguo, devido à grande diferença de indicadores e pesos das metodologias disponíveis, ocasionados, não só por diferentes parâmetros regionais, como também por considerações subjetivas de relevância dos itens verificados. Mesmo assim, é importante a utilização dessas ferramentas, como forma de guiar um processo de melhoria da indústria, atentando para as boas práticas e para o resultado final passível de ser obtido que

impactará toda sociedade.

A seguir serão tratados os principais selos e certificações de agentes públicos e privados disponíveis na construção civil, a nível nacional e internacional. O objetivo é entender as particularidades e a motivação para o surgimento de cada um e justificar a escolha do método para a realização deste trabalho. Portanto, a abordagem sobre a certificação PBE Edifica não será tratada neste momento, sendo reservado um capítulo exclusivo para que sejam aprofundados os conhecimentos que serão necessários para o entendimento do processo, como um todo, a fim de aplicar o método e obter o nível de certificação para a edificação objeto do estudo de caso.

3.3.1 BREEAM[®] (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*)

O sistema BREEAM[®] de certificação foi o primeiro mecanismo deste tipo destinado para a construção civil. Criado em 1990 no Reino Unido, ele representa hoje cerca de 80% do mercado de certificações europeu e é aplicado em 77 países ao redor do mundo, totalizando 552.600 empreendimentos certificados, desde seu lançamento, e mais 2.254.000 registrados (BREEAM, 2016). O método analisa dez diferentes categorias, desde a fase de concepção inicial; passando pelo projeto, pela construção e pela operação. Energia, saúde e bem-estar, inovação, uso do solo, materiais, gestão, poluição, transporte, desperdício e água são os pontos verificados para classificação do empreendimento. Como forma de incentivo e benefícios, o governo inglês também concede facilidades fiscais.

Figura 5 - Selo BREEAM[®]



(fonte: BREEAM, 2016)

3.3.2 LEED® (*Leadership in Energy and Environmental Design*)

Juntamente com o sistema BREEAM®, ambos são atualmente os dois mecanismos mais reconhecidos a nível global, tendo influenciado de maneira significativa o desenvolvimento dos demais (LEE, 2012). Criado nos Estados Unidos, no ano de 1993, e presente hoje em 143 países, o sistema LEED® apresenta quatro níveis de certificação – *Certified, Silver, Gold e Platinum* – que podem ser aplicados às mais variadas tipologias de empreendimentos, desde reformas, até bairros inteiros (GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL, 2016). A avaliação passa por sete dimensões, que analisam questões, como: a proximidade do transporte público e o impacto na vizinhança, a eficiência energética e de consumo de água, a procedência dos materiais empregados na construção, entre outros. De acordo com o Green Building Council Brasil (2012), a certificação LEED® também é um atrativo sob o ponto de vista de investimento mercadológico, já que representa uma valorização do imóvel na faixa de 10% a 20%, possibilitando aumento de lucros e entrada em novos mercados.

Figura 6 - Selo LEED®



(fonte: GREEN BUILDING COUNCIL, 2016)

3.3.3 AQUA-HQE (Alta Qualidade Ambiental)

O selo AQUA-HQE é um processo adaptado da metodologia francesa HQE® (*Haute Qualité Environnementale*) e implantado no Brasil pela Fundação Vanzolini, com parceria de professores da Escola Politécnica da USP. O método é internacional e propõe um alinhamento dos parâmetros

para fins de comparação, porém sempre flexibilizando os níveis de exigência para respeitar as especificidades e diferenças de cada país. Lançado em 2008, conta com 14 categorias diferentes, divididas em dois grandes grupos: impacto exterior e conforto interior. O perfil mínimo para obtenção da certificação exige que 3 destas categorias se enquadrem no nível máximo de melhores práticas; 4 categorias, no nível intermediário de boas práticas; e 7 categorias, no nível mínimo de base (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2016).

Figura 7 - Selo AQUA-HQE



(fonte: FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2016)

3.3.4 Casa Azul

Selo 100% brasileiro, destinado para o setor residencial, criado em 2008, pela Caixa Econômica Federal, como forma de promover o uso racional de recursos naturais de projetos financiados pela instituição. São 53 critérios de avaliação, divididos em 6 categorias: qualidade urbana, projeto e conforto, eficiência energética, conservação de recursos materiais, gestão da água e práticas sociais. Os projetos podem ser enquadrados nos níveis bronze, prata ou ouro, de acordo com a quantidade de critérios atendidos.

Figura 8 - Selo Casa Azul



(fonte: CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2016)

4 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CONFORTO TÉRMICO

Como já citado na abertura deste trabalho, a contribuição das edificações para o consumo de energia elétrica, a nível nacional, é de consideráveis 50,8% do total, distribuído pela rede para todos os setores da sociedade (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2016). Hansen (2000) encontrou em seus estudos de padrões de consumo residencial na cidade de Porto Alegre que, deste volume, em torno de 50% está concentrado em iluminação, condicionamento ambiental e aquecimento de água. Diante destes números se percebe a representatividade das edificações no volume total de energia consumida no país e a importância que deve ser dada no momento de se planejar um novo empreendimento, para que sejam otimizados os espaços e sistemas que vão consumir essa energia ao longo de sua operação. De acordo com um estudo realizado por Meneghetti (2011), a quantidade de energia elétrica consumida durante o período de obra não chega a 25% do consumo anual, quando este mesmo empreendimento se encontra ocupado pelos seus moradores; daí a importância de se verificar a eficiência energética através de um método que pondere de maneira coerente os critérios de construção e uso da edificação.

O conforto térmico de uma edificação é como o resultado de uma equação complexa, que envolve uma série de fatores físicos e humanos que, quando combinados e vinculados ao tempo e ao espaço, proporcionam o entendimento de uma sensação particular. De acordo com a ASHRAE (1993), o conforto térmico é uma condição fisiológica parcialmente subjetiva, que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa. Segundo Oliveira et al. (2015), a correta adaptação de uma edificação com o clima local pode reduzir o consumo de energia elétrica para aquecimento e resfriamento. A adoção do condicionamento térmico natural, sempre que possível, gera maiores benefícios aos usuários e ao meio ambiente, do que quando adotados sistemas artificiais de controle térmico (LAMBERTS et al., 2013). Temperaturas externas, velocidades e direções dos ventos, umidades relativas e temperaturas radiantes são os principais parâmetros mencionados por Oliveira et al. (2015), como influenciadores do conforto térmico em edifícios no Brasil.

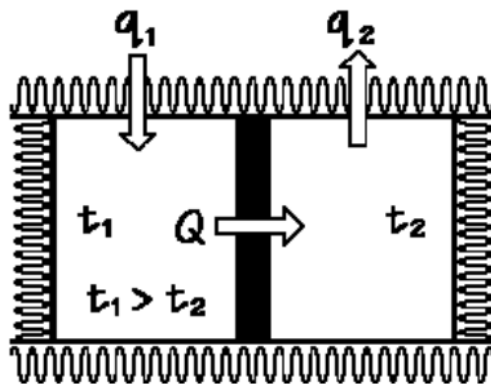
Essas interações térmicas se dão através de alguns processos físicos que envolvem os materiais e os ambientes em que estão. Por meio de transmissões de calor estes são os principais agentes de transformação dos cenários térmicos.

4.1 PROPRIEDADES TÉRMICAS BÁSICAS

4.1.1 Condução

Segundo Roriz (2008), a condução se dá pela troca de calor entre dois pontos de um mesmo corpo ou entre dois corpos em contato direto. De acordo com ele, o calor de cada molécula (a vibração de seus átomos) é transmitido às moléculas vizinhas, criando um fluxo térmico que é diretamente proporcional à diferença de temperatura entre os pontos considerados. É como quando se toca com a pele em algum objeto mais quente e esta parte do corpo passa a ganhar calor por condução, ou pelo processo inverso, da mesma maneira.

Figura 9 - Condução térmica

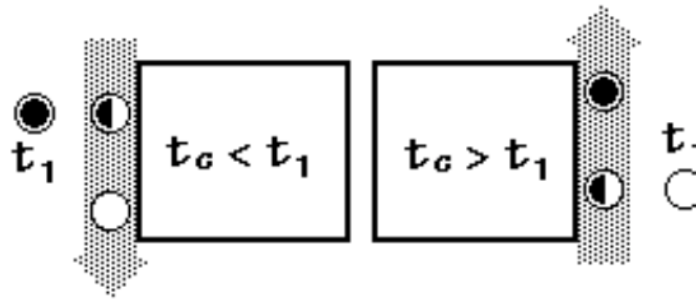


(fonte: RORIZ, 2008)

4.1.2 Convecção

Roriz (2008) afirma que existem dois tipos de troca de calor por convecção: entre dois corpos fluidos (líquido ou gasoso) ou entre um fluido e um sólido. Em ambos os casos é necessário que haja liberdade de movimento relativo entre eles e um gradiente de temperatura. Quando se aquece uma chapa metálica, o ar acima desta passa a ganhar calor e realiza um movimento de ascensão, por exemplo.

Figura 10 - Convecção térmica

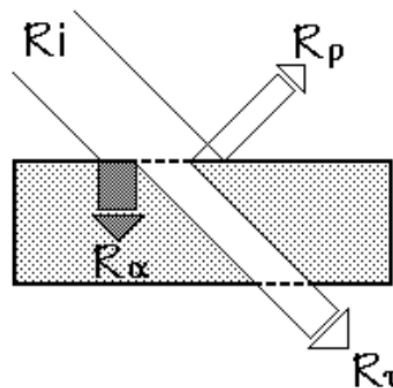


(fonte: RORIZ, 2008)

4.1.3 Radiação

Determinados tipos de radiação, as radiações térmicas, possuem a propriedade de reduzir a temperatura dos corpos que as emitem e elevar a temperatura dos corpos que as recebem (RORIZ, 2008). Todos os corpos que não estejam no “zero absoluto” (0 K, ou $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$) permanentemente emitem e absorvem estas radiações. Para Roriz (2008), essa radiação que incide sobre um corpo se divide e tem parte refletida, parte absorvida e outra parte transferida. A parte que é refletida impacta na cor da superfície, sendo que quanto mais é refletido, o objeto tende a cores mais claras. A transferência simplesmente deixa que parte dessa radiação ultrapasse o objeto, como em casos de vidros. A terceira parcela, é absorvida e impacta diretamente na temperatura do corpo, pois esta energia é transformada em calor no interior do objeto.

Figura 11 - Radiação térmica

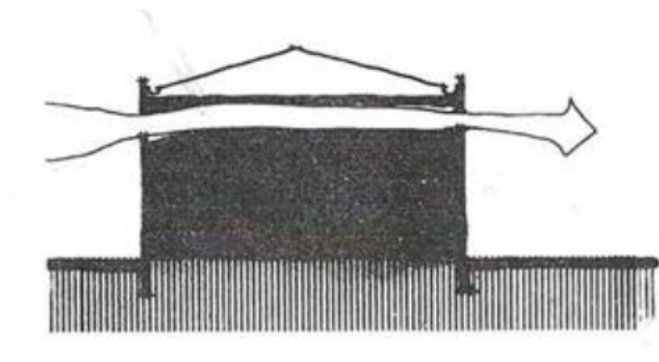


(fonte: RORIZ, 2008)

4.1.4 Ventilação Natural

De acordo com Lamberts et al. (2013), a ventilação natural tem sua importância dividida entre necessidades térmicas e as higiênicas. Para se obter bem-estar no uso dos ambientes é necessário realizar a troca periódica do ar. Este passa a ficar saturado devido a transpiração e evaporação dos fluidos liberados pelo corpo humano e, após um certo ponto, torna o espaço desconfortável. Para o autor, o conceito de ventilação cruzada é eficaz neste caso, pois permite criar, de maneira simples, um caminho preferencial para o ar pelo interior das edificações, através de aberturas em lados opostos, e a correta orientação, em relação aos ventos predominantes da região. Além disso, desta forma é possível realizar a ventilação, mesmo sem dispêndio energético, favorecendo conforto e consumo. Lamberts et al. (2013) diz que esta circulação de ar também é eficaz sob o ponto de vista térmico para temperaturas entre 20°C e 32°C, uma vez que, por convecção, realiza trocas de calor e refrigera o ambiente.

Figura 12 - Ventilação natural



(fonte: MASCARÓ, 1985)

4.1.5 Absortância

De acordo com a NBR 15.220-1, absortância é o quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície, pela taxa de radiação incidente sobre esta mesma superfície. De maneira geral, ela representa a capacidade de um material reter ou repelir certa quantia de radiação, influenciando diretamente na contribuição térmica deste elemento. A absortância está ligada diretamente às cores e rugosidades das superfícies.

4.1.6 Capacidade Térmica

É uma propriedade intrínseca ao material e que, segundo a NBR 15.220-1, representa a quantidade de calor necessário para variar em uma unidade a temperatura de um sistema.

4.1.7 Transmitância Térmica

Também definido como o inverso da Resistência Térmica, ou seja, trata da passagem de calor pelo material. A NBR 15.220-1 define que é a transmissão de calor em unidade de tempo, através de uma área de um elemento, induzido pela diferença de temperatura entre dois ambientes.

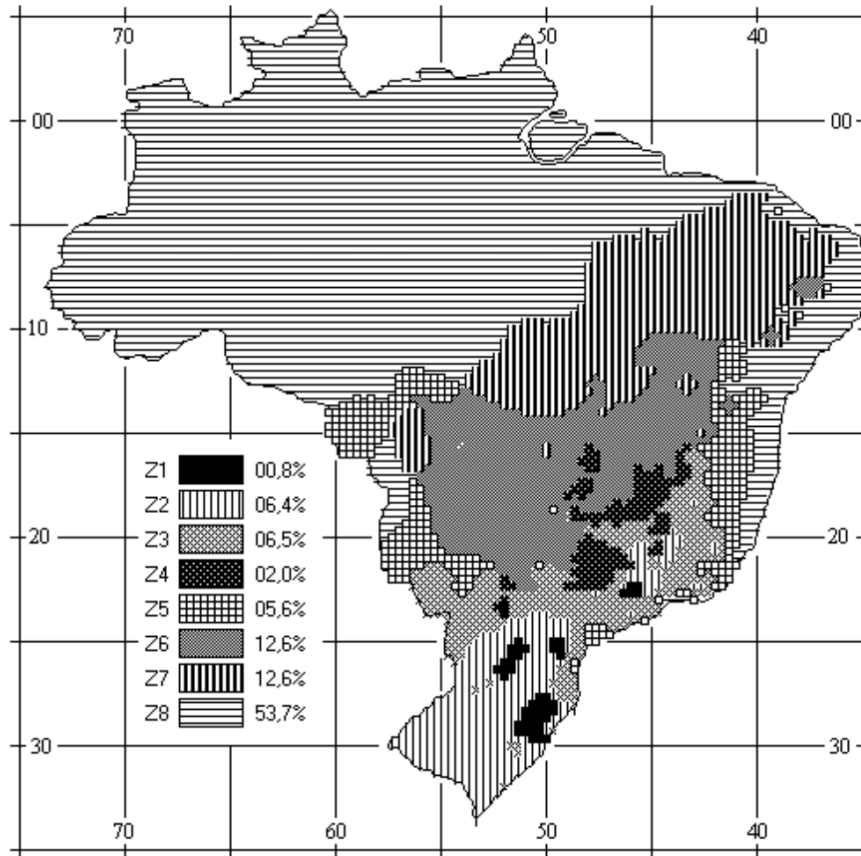
4.2 FATORES DETERMINANTES

4.2.1 Sítio de implantação

De acordo com Corbella e Yannas (2010), dentre os principais fatores que influenciam os padrões de conforto do ambiente construído estão: a radiação solar, a temperatura, o vento e a umidade do local onde a edificação está situada. Desta forma, compreender estas características do meio em que será inserida a construção é de suma importância para a elaboração de um projeto que atenda a padrões superiores de desempenho ambiental.

Estes fatores e variáveis climáticas foram divididas pela NBR 15220-3 em oito grandes grupos do território brasileiro com características distintas, chamados de zonas bioclimáticas. Para isso, o território nacional foi dividido em células, que seriam observadas segundo médias mensais de temperaturas máximas e mínimas e umidade relativa do ar. A partir dessa diferenciação, a norma busca apresentar recomendações de desempenho térmico e de técnicas construtivas, sob a forma de estratégias de adequação climática para um melhor resultado final da edificação, de acordo com cada região em que se enquadra. Frota e Schiffer (2001) mencionam que os valores destas variáveis climáticas se alteram em função dos diferentes locais da Terra, sendo função, então, de variáveis locais, tais como: latitude, orientação do terreno, urbanização, condições do ar e o relevo. Para a NBR 15220-3, a cidade de Porto Alegre enquadra-se na zona bioclimática 3.

Figura 13 - Zonas bioclimáticas brasileiras



(fonte: NBR 15220-3)

4.2.1.1 Radiação Solar

A radiação solar é a principal fonte de energia do planeta e chega até a Terra através de ondas eletromagnéticas emitidas pelo sol (KINSEL, 2009). Esta energia é percebida na edificação sob forma de luz e calor, representando grande influencia de ganho térmico e iluminação natural no projeto. Entretanto, Koeningsberger et al. (1973) afirma que nem toda radiação atinge diretamente a edificação, sendo parte originária da reflexão das ondas pelas nuvens e pelo próprio solo. Além disso, Frota e Schiffer (2001) também destacam que a quantidade desta radiação depende da época do ano e da latitude. No inverno e no verão estão os momentos de mínima e máxima intensidade de radiação, respectivamente. A latitude, por sua vez, determina o ângulo de incidência dos raios solares e, por conseguinte, a intensidade dos mesmos. Portanto, latitudes mais extremas apresentam menores densidades de radiação do que as regiões próximas ao equador. Segundo Sattler (1989), Porto Alegre possui um número total de horas de insolação anual de 2445 horas, sendo

dezembro o mês mais ensolarado, com 282 horas de luz do sol, e julho o menos, com 144 horas anuais.

4.1.5.2 Temperatura

A temperatura do ar é um dos principais fatores na avaliação do conforto térmico de ambientes. Kinsel (2009) ressalta que, para uma mesma temperatura, a sensação de conforto térmico pode ser significativamente diferente, em função das variáveis ambientais, como: o vento, a radiação solar e a umidade do local. Além disso, para Corbella e Yannas (2010), o fenômeno da formação de ilhas de calor também pode elevar a temperatura de uma região em relação a regiões próximas. Isso se deve a questões decorrentes das alterações do uso do solo, como mudança de revestimentos, volumetria das edificações, emissão de poluentes, entre outros. Segundo Machado (1950), a temperatura média anual da cidade de Porto Alegre é de 19,5°C, já tendo sido observadas máxima de 40,7°C e mínima de -2,4°C.

4.1.5.3 Vento

O vento pode ser considerado como o deslocamento de ar, geralmente de maneira paralela ao solo. Corbella e Yannas (2010) mencionam que essa movimentação ocorre em função da existência de gradientes de pressão, causado pelo próprio vento, ou pela diferença de densidades, em razão da diferença de temperatura do ar, que fluem sempre da zona de maior, para a zona de menor pressão.

Nas edificações o vento pode ser usado como estratégia de conforto térmico e higiênico, promovendo a troca de ar dos ambientes. Neste cenário, as dimensões, a forma e a distribuição de aberturas são fatores importantes para gerar caminhos preferenciais para o vento, de maneira a atender as circulações ótimas internas. Aliado a isso, o conjunto de soluções arquitetônicas e paisagísticas também deve ser observado, uma vez que interagem no ambiente externo, gerando gradientes de pressão que irão interferir nas condições do entorno da edificação.

4.1.5.4 Umidade

A definição de umidade se refere ao vapor de água contido no ar, originário da evaporação das superfícies dos oceanos, das superfícies úmidas de vegetação e de pequenos corpos d'água (GIVONI, 1969). No conceito de umidade relativa, admite-se que o ar aceita tanto mais vapor d'água, quanto maior for a temperatura do ar, numa escala que vai de 0%, no ar seco, à 100%, no ar saturado. Aliado aos ventos, pode ser uma boa estratégia de conforto térmico para umidificação de ambientes, conforme será abordado mais à frente neste trabalho. Segundo os estudos de Marquardt (1969), a umidade relativa média anual de Porto Alegre é de 76%, já tendo sido registrado uma variação diária de 83%, com um mínimo de 14%. a um máximo de 97%.

4.1.2 Envoltória construtiva

De maneira geral, pode-se fazer uma analogia entre a envoltória construtiva com a pele do ser humano. Ambas são responsáveis pela interface e contato direto com o meio exterior, permitindo as trocas térmicas e sujeitas aos intemperismos locais. Desta forma, as propriedades físicas dos materiais são de grande importância para o entendimento deste sistema de fechamento que, do ponto de vista da edificação, pode ser dividido entre pisos, vedações verticais e coberturas. Cada um destes sistemas é composto por subsistemas, que contribuem de maneira ponderada a área total com a qual estão em contato e realizam mais ou menos trocas de calor, em função das propriedades dos seus materiais e dos seus arranjos arquitetônicos.

A NBR 15.520-3 estabelece, para cada uma das zonas bioclimáticas brasileiras, algumas estratégias e diretrizes construtivas para as edificações. Foram considerados quatro parâmetros diferentes de projeto:

- a) Tamanho das aberturas para ventilação;
- b) Proteção das aberturas;
- c) Vedações externas (tipo de parede externa e tipo de cobertura); e
- d) Estratégias de condicionamento térmico passivo.

Dentre as orientações para o tamanho de aberturas, a norma menciona percentuais relativos à área de piso, no tocante à ventilação. Em se tratando de proteção de aberturas, a principal estratégia é o sombreamento das mesmas, para impedir a incidência direta de raios de sol. Nas vedações externas, tanto para paredes, quanto para coberturas, a norma estipula diferentes propriedades térmicas para os materiais, com a intenção de proporcionar sistemas que resistam mais ou menos às trocas de calor entre o meio interno e o meio externo. Por fim, a norma também sugere diversas estratégias específicas de condicionamento térmico passivo, para cada região, como o estudo arquitetônico para aquecimento solar da edificação, em períodos frios; e a adoção de ventilação cruzada em ambientes, ou até mesmo o aquecimento artificial dos ambientes, em períodos extremos, entre outras.

4.1.3 Usuário

O organismo humano tem sua temperatura mantida a um valor quase constante e por isso pode ser considerado um animal homeotérmico. Essa característica faz com que o corpo humano possa ser comparado a uma máquina térmica, que obtém sua energia através de fenômenos térmicos (FROTA E SCHIFFER, 2001). No organismo, esta energia advém de reações químicas, a partir principalmente de carboidratos ingeridos através dos alimentos, e do oxigênio, obtido pelo ar da respiração. Frota e Schiffer (2001) destacam que estas reações são do tipo exotérmicas e fornecem calor para manter o corpo humano aquecido, em torno de 37°C. Segundo os autores, esta parcela corresponde a 80% da energia gerada pelo metabolismo, enquanto que 20% é transformada em trabalho. Entretanto, estes 80% transformados em calor são mais do que suficientes para manter o corpo aquecido em condições normais e parte disso é então dissipada ao ambiente, para que o organismo se mantenha em equilíbrio térmico. A quantidade deste calor que é emitido varia em função da atividade que a pessoa está desenvolvendo e pode, por exemplo, em estado de repouso, ser equivalente a 75W.

5 PBE EDIFICA

Como já abordado neste trabalho, a busca por padrões que sirvam de referência para apontar o atingimento ou não de desempenhos energéticos e sustentáveis vem se difundindo vastamente no mundo nas últimas décadas. Diversas certificações entraram no mercado para suprir essa demanda e fornecer informação para todas as partes interessadas, desde o investidor até o cliente. No Brasil um modelo de certificação por etiquetas, que se comportam como selos de conformidade para evidenciar o atendimento a alguns requisitos de desempenho estabelecidos em normas e regulamentos técnicos, vem sendo bastante aplicado em vários nichos da indústria, principalmente no de eletrodomésticos.

Este padrão nacional trabalha focado na identificação da eficiência energética do produto, sendo assim chamado de Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). A ENCE classifica produtos por faixas coloridas, em geral de “A” a “E”, mais e menos eficiente, respectivamente. Além disso ela também fornece algumas outras informações básicas relevantes sobre o desempenho do produto.

Inicialmente discutido em 1984, pelo Inmetro, o programa ganhou o nome de Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e é composto por 38 programas de avaliação de conformidade, que vão desde eletrodomésticos básicos, passando por veículos e, mais recentemente, edificações. O programa é coordenado em parceria com o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) e operacionalizado pela Eletrobras, que premiam os produtos mais eficientes nesta cadeia de etiquetagem do Inmetro.

Neste trabalho, o PBE Edifica foi o processo padrão de verificação de desempenho adotado para interpretar as características de um empreendimento objeto de estudo. Dentre as razões para esta escolha estão os itens abaixo:

- a) Familiaridade da população com o programa;
- b) Simplicidade de interpretação e comparação da etiqueta;
- c) Abrangência do programa proporcionada por ser uma iniciativa governamental, instituída em todo o país, para vários segmentos da indústria;

- d) Representatividade da parcela energética no impacto global, quando se analisa uma construção sob o ponto de vista de desempenho sustentável, já abordada neste trabalho;
- e) Tendência mercadológica e política de disseminação, e até regulamentação, deste programa para a indústria nacional da construção.

5.1 ETIQUETAGEM

No Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC), realizado em 1993, avanços significativos foram alcançados na alçada de desempenho térmico e energético de edificações. Parte deste conhecimento levou, posteriormente, a criação de dois modelos de etiquetagem distintos para edificações. Foram publicados, então, documentos que separavam os requisitos e parâmetros nas análises de edificações comerciais (RTQ-C) e de edificações residenciais (RTQ-R). Estes documentos (Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência de Edificações) contêm a metodologia necessária para o enquadramento em níveis mais ou menos eficientes.

Além desta separação, também fora feita a distinção entre etiquetas, de etapas de projeto ou, posteriormente, de edificações já construídas, em razão dos desvios construtivos, que muitas vezes são observados ao longo da execução das obras. Outra diferença está na forma de análise do prédio em si, que pode ser feito com dois métodos:

- a) Método prescritivo: as características construtivas do empreendimento são convertidas em dados de entrada para equações que, ao final, irão fornecer o nível de desempenho atingido; Este será o método adotado neste trabalho.
- b) Método de simulação: a edificação sob análise é modelada computacionalmente em um modelo virtual e então inserida em um *software* de análise de comportamento térmico, tendo suas propriedades e resultados externados de maneira mais completa e detalhada.

Dentro do cenário residencial, ainda é possível subdividir as etiquetas por Unidades Habitacionais Autônomas (UH – casas e/ou apartamentos), por Edificação Multifamiliar (o edifício, como um todo) ou pela Área de Uso Comum (uso frequente e uso eventual). Já, no cenário comercial, público ou de serviço, a etiquetagem pode ser feita para um pavimento apenas, ou vários pavimentos. Neste caso são avaliados sistemas de condicionamento de ar e iluminação dos pavimentos sob análise e

da envoltória do edifício, como um todo. Abaixo, segue uma lista com todas as possibilidades de etiquetagem disponíveis para os setores residencial, comercial, público e de serviços.

5.1.1 Etiquetas para edificações comerciais, públicas e de serviços

Combinadas as possibilidades, as ENCE disponíveis para o setor comercial, público e de serviço são:

ENCE Geral – para o projetos de edificações, pavimento(s) ou conjunto de ambientes contemplando os três sistemas (envoltória construída, sistema de iluminação e condicionamento de ar);

ENCE Parcial – para o projeto de envoltória;

ENCE Parcial – para o projeto de envoltória e do sistema de iluminação;

ENCE Parcial – para o projeto de envoltória e do sistema de condicionamento de ar;

ENCE Geral – para edificações, pavimento(s) ou conjunto de ambientes contemplando os três sistemas (envoltória construída, sistemas de iluminação e condicionamento de ar);

ENCE Parcial – para envoltória construída;

ENCE Parcial – para envoltória construída e sistemas de iluminação implementado; e

ENCE Parcial – para envoltória construída e sistema de condicionamento de ar implementado.

5.1.2 Etiquetas para edificações residenciais

Combinadas as possibilidades, as ENCE disponíveis para o setor residencial são:

ENCE – Projeto da unidade habitacional autônoma;

ENCE – Projeto da edificação multifamiliar;

ENCE – Projeto das áreas comuns;

ENCE – Unidade habitacional autônoma construída;

ENCE – Edificação habitacional construída; e

ENCE – Áreas de uso comum construídas.

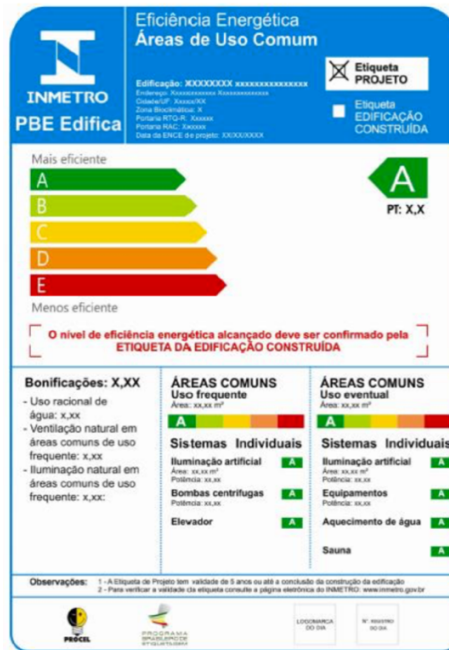
O presente trabalho irá empreender uma análise para simular a obtenção da certificação de uma edificação residencial, de acordo com os requisitos da ENCE de Projeto de edificação multifamiliar. Esta escolha se deu em função de representar uma grande parcela dos novos empreendimentos do mercado imobiliário de Porto Alegre. Vê-se, nesta abrangência, a possibilidade de, servindo de ferramenta de tomada de decisão, impactar positivamente no desenvolvimento de projetos mais eficientes e, por conseguinte, na questão ambiental da cidade. Abaixo, as figuras 15 e 16 mostram exemplos das ENCE's de Projeto da Unidade Habitacional Autônoma e de Áreas de Uso Comum, respectivamente. A seguir, a figura 17 mostra um exemplo de ENCE de Projeto da Edificação Multifamiliar, a qual será descrito o processo de obtenção nos próximos capítulos.

Figura 14 - ENCE de Projeto da Unidade Habitacional Autônoma



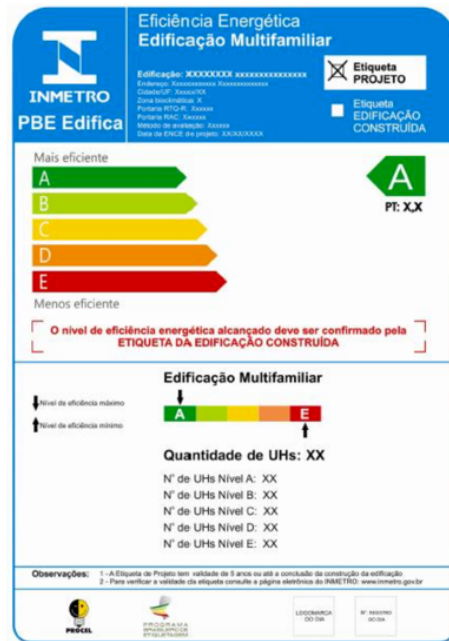
(fonte: INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2013)

Figura 15 - ENCE de Projeto das Áreas de Uso Comum



(fonte: INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2013)

Figura 16 - (fonte: ENCE de Projeto da Edificação Multifamiliar



(fonte: INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2013)

6 EDIFICAÇÃO OBJETO DE ESTUDO

Para dar início às análises, serão abordadas neste capítulo informações gerais e técnicas da edificação escolhida para o estudo. Estes dados são fundamentais para a caracterização do modelo e para o correto entendimento e modelagem das condições que tem influência direta ou indireta nos dados que serão obtidos posteriormente. Serão caracterizadas as propriedades inerentes aos materiais que compõe a construção, as condições de contorno do sítio no qual está inserido o prédio e as condições de ocupação e operação dos espaços.

A edificação foi escolhida por retratar uma tipologia de projeto bastante usual na cidade de Porto Alegre. Os projetos e memoriais descritivos utilizados para a elaboração deste trabalho foram disponibilizados pela construtora responsável pela incorporação e construção da obra. A empresa está no mercado há mais de 20 anos e atua na construção de imóveis residenciais e comerciais de médio e alto padrão.

O empreendimento em questão se trata de duas torres residenciais, de 11 pavimentos cada, e com 8 apartamentos por andar. Ambas tiveram sua construção iniciada no primeiro semestre de 2017. Portanto, as análises e considerações feitas neste trabalho são embasadas única e exclusivamente nos detalhamentos e especificações discriminados em fase de projeto.

Apesar de a construtora ter entre as suas políticas institucionais a constante melhoria de aspectos ambientais e de qualidade, o empreendimento em estudo não estava vinculado com nenhum programa de certificação ambiental, até o momento deste trabalho. Apesar disso, algumas práticas sustentáveis já vêm sendo empregadas nos novos projetos e, na sequência deste trabalho, serão verificadas as respectivas contribuições dos mesmos para com o processo de etiquetagem.

6.1 LOCALIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

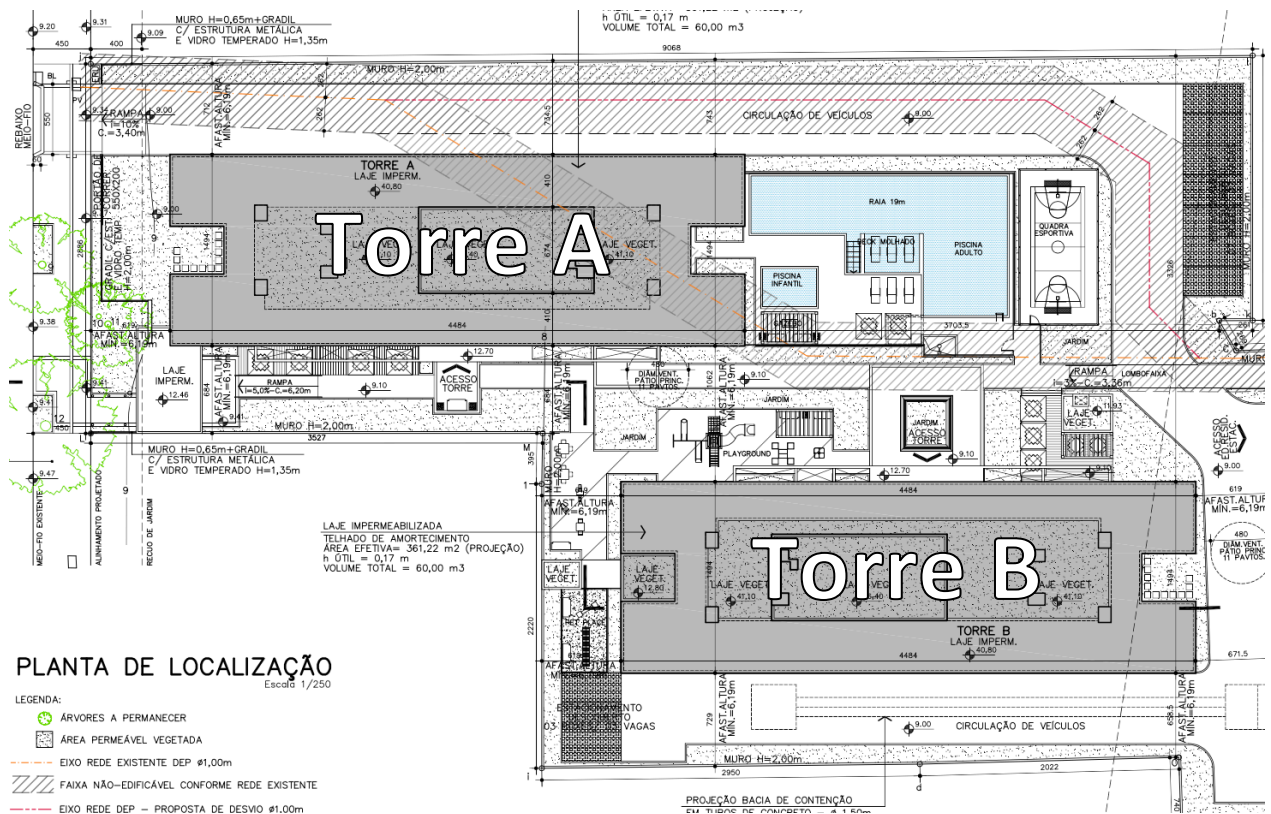
O empreendimento se localiza no bairro São João, da cidade de Porto Alegre, no estado do Rio Grande do Sul. De acordo com a NBR 15.220-3, a cidade de Porto Alegre está enquadrada na Zona Bioclimática 3, condição que norteia as análises que serão feitas a seguir.

O entorno do terreno é composto por outras edificações de pequeno porte, na sua maioria casas residenciais, que não provocam sombreamento, nem obstrução de correntes de vento, para o empreendimento.

6.2 CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

O projeto inteiro é composto por duas torres residenciais e um edifício garagem, com lojas comerciais no térreo. As duas torres possuem exatamente o mesmo projeto, sendo apenas deslocadas uma da outra e rotacionadas entre si. O edifício garagem e as lojas constituem um prédio independente, que não faz contato com nenhuma das torres. As três edificações estão separadas pelo pátio, conforme figura 18. Além disso, o projeto ainda conta com uma área de lazer, nos pilotis das torres e na implantação.

Figura 17 - Planta de localização do empreendimento



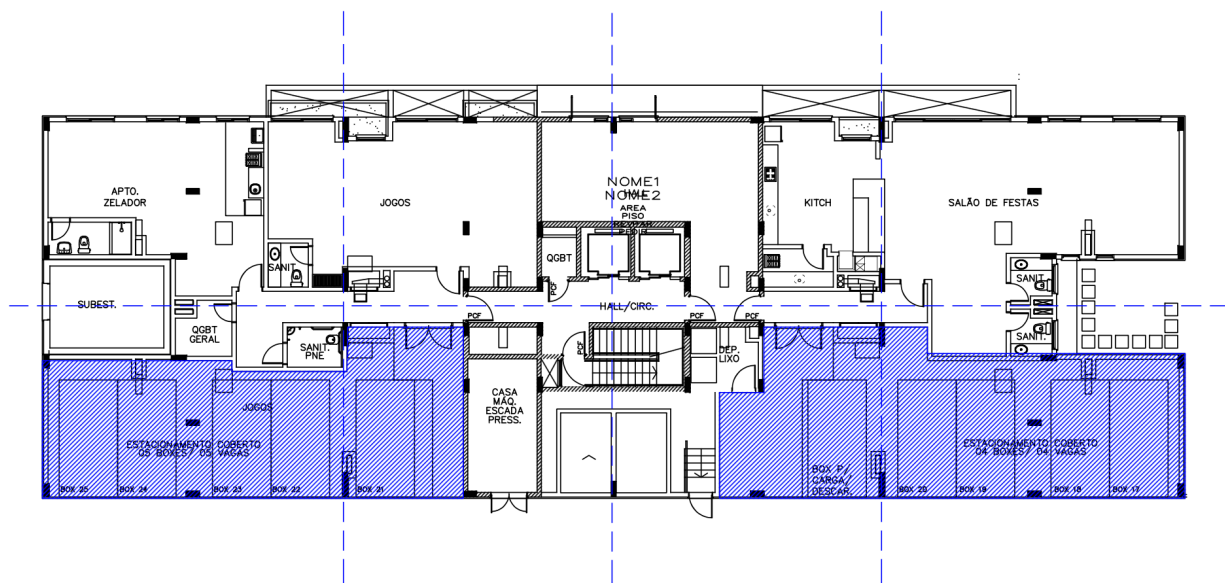
(fonte: elaborado pelo autor)

Como a análise do edifício garagem não está entre os objetivos do trabalho, o mesmo não terá suas características detalhadas. Assim também a Torre A, que, apesar de ser idêntica à Torre B, não será analisada diretamente neste estudo.

Torre B - Residencial

O prédio pode ser dividido em três tipologias: pavimento térreo, pavimento tipo e pavimento de cobertura. O pavimento térreo é composto por áreas de uso comum, como: hall de entrada, salão de festas, brinquedoteca e apartamento do zelador; e por vagas de estacionamento abertas, no pilotis. Desta forma, como ilustrado na figura 19, parte dos apartamentos do segundo pavimento (pavimento tipo) possuem seu piso sobre ambientes fechados; e parte, sobre áreas abertas, o que influencia nas condições de trocas térmicas e será levado em consideração nas análises da envoltória destas unidades.

Figura 18 - Apartamentos sobre pilotis vs. apartamento sobre áreas fechadas



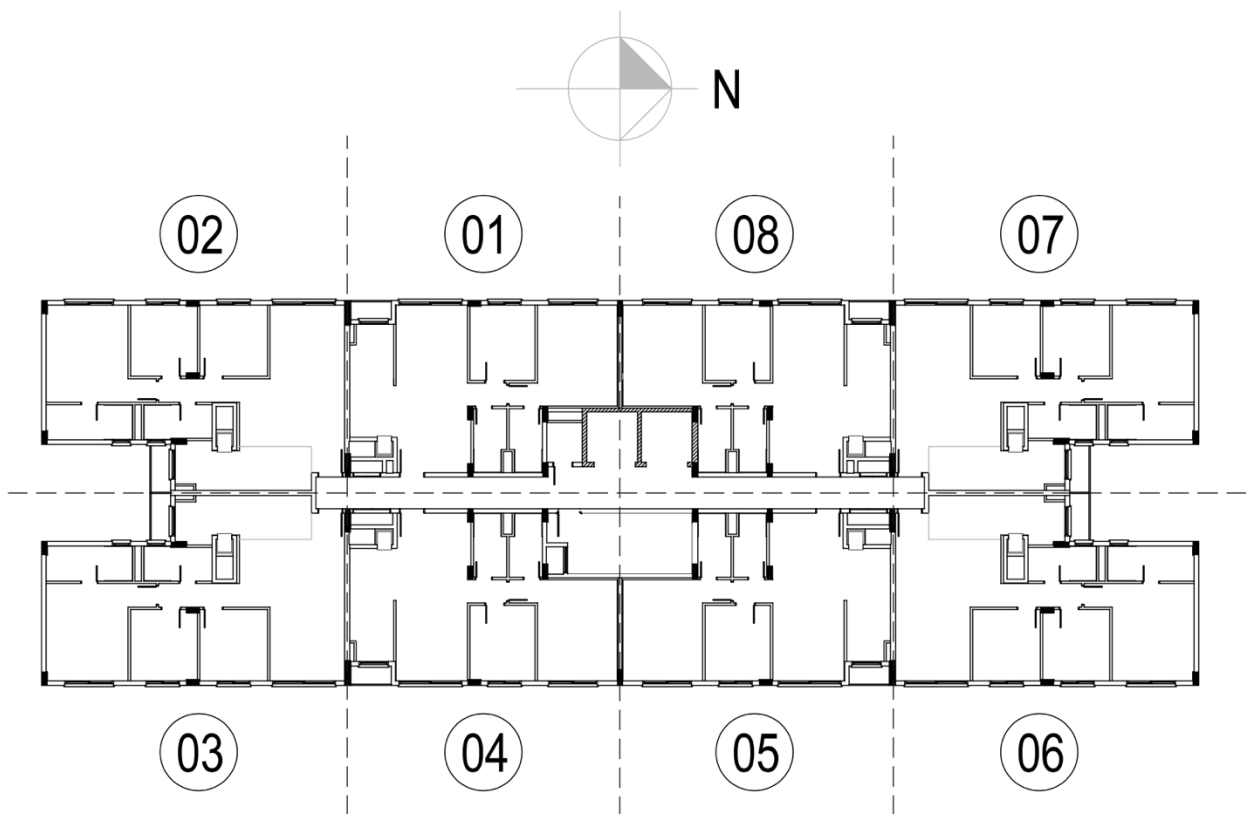
(fonte: elaborado pelo autor)

O pavimento tipo, que vai do 2º ao 11º pavimento, é compreendido por 8 apartamentos, área de circulação comum, salas técnicas para instalações, escada e poço de elevador para dois elevadores. As unidades habitacionais, que podem ser de 2 ou 3 dormitórios, são separadas das áreas comuns e entre si por paredes de alvenaria, rebocadas em ambos os lados. Na fachada, o sistema de

fechamento é o mesmo; porém, se distingue por trechos revestidos com textura e pintura na cores branca, cinza claro, cinza escuro; e por trechos revestido por placas cerâmicas, na cor cinza escuro. As esquadrias externas são todas de PVC, na cor branca, com sistema de persiana embutida, folhas de correr duplas e vidros simples de 5mm. Internamente, as divisões dos ambientes de cada unidade habitacional são compostas por sistema *dry-wall*, com gesso acartonado.

A disposição dos apartamentos em relação às suas orientações pode ser observada na figura 20. Como ilustrado na planta, quatro unidades possuem fachada voltada para leste e as outras quatro unidades, fachadas voltadas para oeste.

Figura 19 - Localização dos apartamentos (UHs)



(fonte: elaborado pelo autor)

A planta do pavimento tipo possui, como pode ser visto na figura anterior, dois eixos de simetria, um transversal e um longitudinal. Todos os oito apartamentos podem ser entendidos como o espelhamento, em ambas direções, de dois apartamentos de um quadrante, formado pela

intersecção destes eixos de simetria. Um destes apartamentos possui 80,00 m², três dormitórios, com todos os ambientes contando com ventilação natural. O outro modelo de apartamento possui 60,00 m², dois dormitórios, sendo que seus banheiros possuem apenas ventilação mecânica artificial.

Quanto ao sistema estrutural, a edificação inteira é formada exclusivamente por estrutura de concreto armado convencional, com lajes maciças de 12cm de espessura entre pavimentos. No pavimento de cobertura, além da laje padrão, também fazem parte do sistema de piso (teto do último pavimento tipo) o sistema de impermeabilização e, em alguns trechos, uma cobertura vegetada. Neste pavimento também estão localizados os reservatórios superiores e a casa de máquinas dos elevadores.

7 METODOLOGIA

O método proposto neste trabalho para a realização da avaliação energética é o disposto no Regulamento Técnico da Qualidade, para o Nível de Eficiência Energética de Edificações (RTQ-R), do Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações. O programa ainda prevê duas opções para as análises: ou por simulação computacional, ou por método prescritivo. Neste trabalho será utilizado o método prescritivo que, com o apoio dos projetos e memoriais descritivos da edificação, permitirá obter os parâmetros necessários para o enquadramento do nível de eficiência.

É importante ressaltar que o regulamento ainda salienta a importância do atendimento, independentemente das exigências para classificação das edificações, quanto a eficiência energética, das normas da ABNT. De maneira geral, o objetivo do regulamento é criar mecanismos que deem condições para a etiquetagem de edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares.

7.1 PROCEDIMENTO PARA DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Os passos a serem tomados para a determinação da eficiência energética da edificação seguem o roteiro previsto pelo regulamento. Inicialmente, já é destacado a necessidade do cumprimento de pré-requisitos gerais, para que seja possível alcançar os níveis A ou B do programa. Restringem-se a estas classificações superiores apenas as edificações que possuem sistema de medição individualizada de água e eletricidade.

A partir desta pré-classificação, a análise se estrutura em itens distintos, que poderão resultar em resultados individuais ou, se combinados, resultar na classificação geral da edificação. Estes itens estão elencados abaixo, assim como a metodologia para a sua respectiva etiquetagem.

- a) Unidades Habitacionais Autônomas: são avaliados os requisitos relacionados ao desempenho da envoltória da edificação, para inverno e verão, ao sistema de aquecimento de água e às eventuais bonificações do projeto.
- b) Edificações Multifamiliares: também é aplicado o procedimento das Unidades Habitacionais Autônomas, porém, para o resultado final da Edificação Multifamiliar, ponderam-se os resultados de todas as unidades.

Para cada um dos requisitos avaliados é calculada uma pontuação que, com a utilização da tabela 1, recebe uma classificação correspondente.

Tabela 1 - Classificação do nível de eficiência de acordo com a pontuação obtida

Pontuação (PT)	Nível de Eficiência
$PT \geq 4,5$	A
$3,5 \leq PT < 4,5$	B
$2,5 \leq PT < 3,5$	C
$1,5 \leq PT < 2,5$	D
$PT < 1,5$	E

(fonte: INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2012)

7.1.1 Unidades Habitacionais Autônomas

Para a classificação final da Unidade Habitacional Autônoma é utilizada a equação 1, que pondera os resultados de cada requisito avaliado, pelos coeficientes específicos para cada região do país, conforme a tabela 2.

$$PT_{UH} = a \times EqNumEnv + [(1 - a) \times EqNumAA] + Bonificações \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde:

PT_{UH} : pontuação total do nível de eficiência da unidade habitacional autônoma;

a: coeficiente da Tabela 2, adotado de acordo com a região geográfica na qual a edificação está localizada;

EqNumEnv: equivalente numérico do desempenho térmico da envoltória da unidade habitacional autônoma, quando ventilada naturalmente, após verificação, conforme o item 7.2;

EqNumAA: equivalente numérico do desempenho do sistema de aquecimento de água, conforme item 7.3;

Bonificações: pontuação atribuída a iniciativas do projeto da edificação, que aumentam a eficiência energética da mesma, conforme definida no item 7.1.4;

Tabela 2 - Coeficientes da equação 1

Coeficiente	Região Geográfica				
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
a	0,95	0,90	0,65	0,65	0,65

(fonte: INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA,
QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2012)

7.1.2 Edificações Multifamiliares

O enquadramento da edificação multifamiliar na etiquetagem faz uso dos resultados obtidos no item anterior, referente às Unidade Habitacionais Autônomas. Faz-se a ponderação da classificação de cada unidade pela sua respectiva área útil, excluindo-se terraços e varandas. A classificação final da edificação será o nível correspondente à pontuação numérica da tabela 1.

7.2 ENVOLTÓRIA

Este item irá tratar da metodologia utilizada para determinação da eficiência da envoltória da edificação. De maneira geral, a análise se resume em verificar o atendimento dos pré-requisitos dispostos no regulamento e, também, na análise do comportamento térmico do sistema, a partir das propriedades físicas dos materiais que compõe a envoltória.

7.2.1 Pré-Requisitos da Envoltória

Deve-se analisar os pré-requisitos abordados a seguir, de maneira individual para cada ambiente de permanência prolongada.

7.2.1.1 Transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância solar das superfícies

O regulamento prevê valores mínimos para as propriedades térmicas dos componentes do sistema de envoltória, tanto para paredes, quanto para coberturas de ambientes de permanência prolongada, de acordo com a Zona Bioclimática em que a edificação se localiza. Os valores de referência estão elencados na tabela 3 e o não atendimento a este pré-requisito implica em uma classificação máxima nível C, nos equivalentes numéricos da envoltória do ambiente para resfriamento ($EqNumEnvAmb_{Resfr}$), para aquecimento ($EqNumEnvAmb_A$) e para refrigeração ($EqNumEnvAmb_R$).

Tabela 3 - Pré-requisitos de absorvância, transmitância térmica e capacidade térmica para as diferentes Zonas Bioclimáticas

Zona Bioclimática	Componente	Absorvância solar (adimensional)	Transmitância térmica [W/(m²K)]	Capacidade térmica [kJ/(m²K)]
ZB1 e ZB2	Parede	Sem exigência	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	Sem exigência	$U \leq 2,30$	Sem exigência
ZB3 a ZB6	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	$CT \geq 130$
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 2,30$	Sem exigência
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 1,50$	Sem exigência
ZB7	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	$CT \geq 130$
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	$\alpha \leq 0,4$	$U \leq 2,30$	Sem exigência
		$\alpha > 0,4$	$U \leq 1,50$	Sem exigência
ZB8	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	Sem exigência
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	Sem exigência
	Cobertura	$\alpha \leq 0,4$	$U \leq 2,30$	Sem exigência
		$\alpha > 0,4$	$U \leq 1,50$	Sem exigência

(fonte: INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2012)

Quando uma parede ou cobertura de um ambiente de permanência prolongada possui materiais com valores distintos para estas propriedades, deve-se considerar a parcela média, ponderada pela área que a mesma ocupa, excluindo-se as aberturas.

7.2.1.2 Ventilação Natural

Exige-se o atendimento a dois pré-requisitos, em relação à ventilação das UHs.

a) Percentual de áreas mínimas de abertura para ventilação

O regulamento exige um percentual mínimo de abertura para ventilação das áreas de permanência prolongada, em função da Zona Bioclimática em que estão situadas. O não atendimento dos valores citados na tabela 4 implica em uma classificação máxima nível C, no equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento ($EqNumEnvAmb_{Resfr}$).

Tabela 4 - Percentual de áreas mínimas para ventilação em relação à área útil do ambiente

Ambiente	Percentual de abertura para ventilação em relação à área de piso (A)		
	ZB 1 a 6	ZB 7	ZB 8
Ambientes de permanência prolongada	$A \geq 8\%$	$A \geq 5\%$	$A \geq 10\%$

(fonte: INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2012)

Para calcular o percentual de abertura para ventilação (A) deve-se utilizar a equação 2.

$$A = 100 \times \frac{A_v}{AU_{amb}}$$

(Equação 2)

Onde:

A: percentual de abertura para ventilação, em relação à área útil do ambiente (%);

A_v : área de abertura para ventilação (m^2);

$A_{U_{amb}}$: área útil do ambiente (m^2);

Deve-se, ainda, atentar que as áreas de corredores devem ser desconsideradas do cálculo da área útil do ambiente. Além disso, para a UH atingir o nível A, pelo menos 50% dos banheiros, com exceção dos lavabos, devem possuir ventilação natural. O não atendimento deste pré-requisito implica em obtenção máxima de nível B, para o equivalente numérico da envoltória da UH ($EqNumEnv$).

b) Ventilação cruzada

As edificações localizadas nas Zonas Bioclimáticas de 2 a 8 devem possuir ventilação cruzada, compreendida por aberturas em fachadas opostas ou adjacentes. Portas de acesso principal e de serviço não são consideradas como aberturas para ventilação. Para ser considerada uma ventilação cruzada, as aberturas devem atender a proporção indicada na equação 3. Para as unidades que não atingirem a proporção indicada, ou que não possuírem aberturas que proporcionem ventilação adequada, atribuir-se-á a classificação máxima nível C, no equivalente numérico da envoltória para resfriamento ($EqNumEnv_{Resfr}$).

$$\frac{A_2}{A_1} \geq 0,25$$

(Equação 3)

Onde:

A_1 : somatório das áreas efetivas de aberturas para ventilação, localizadas nas fachadas da orientação com maior área de abertura para ventilação (m^2);

A_2 : somatório das áreas efetivas de aberturas para ventilação, localizadas nas demais fachadas (m^2);

7.2.1.3 Iluminação Natural

Também é pré-requisito para o sistema de envoltória a existência de uma ou mais aberturas para o exterior, que garantam iluminação natural para os ambientes de permanência prolongada. Para ter este fator efetivamente considerado, a soma das áreas de aberturas para iluminação natural de cada ambiente deve alcançar um mínimo de 12% da área útil do ambiente, desconsiderando-se as áreas de corredores, mesmo que contíguos à peça principal. O não atendimento deste item implica na classificação máxima nível C, para os equivalentes numéricos da envoltória do ambiente para resfriamento ($EqNumEnvAmb_{Resf}$), para aquecimento ($EqNumEnvAmb_A$) e para refrigeração ($EqNumEnvAmb_{Refrig}$).

7.2.2 Determinação do Equivalente Numérico da Envoltória

A determinação do desempenho térmico da UH utilizando o método prescritivo é determinado pelo seu respectivo Equivalente Numérico ($EqNumEnv$). O cálculo deste valor equivalente é conduzido de maneira diferente para cada Zona Bioclimática, de maneira a levar em consideração as particularidades dos padrões de uso dos ambientes por seus ocupantes, e as diferenças nas condições de contorno das UHs.

Através de equações de regressão múltipla, cada unidade habitacional autônoma é analisada e tem seu equivalente numérico de envoltória calculado para a condição de naturalmente ventilada e para a condição de condicionada artificialmente. Na determinação do desempenho térmico da envoltória, para se chegar à pontuação geral da UH, é utilizado apenas o resultado obtido na condição de naturalmente ventilada. A condição de condicionada artificialmente é de caráter apenas informativo, sendo pré-requisito à obtenção do nível A, neste item, para a obtenção da bonificação de condicionamento artificial de ar.

Por se tratar de um procedimento extenso e com equações de muitas variáveis, será descrito apenas o método utilizado nos cálculos para a Zona Bioclimática 3, na qual está inserida a edificação objeto de estudo deste trabalho, segundo a NBR 15.220-3, na cidade de Porto Alegre.

7.2.2.1 Eficiência Quando Naturalmente Ventilada

O procedimento para determinação da envoltória da UH, quando naturalmente ventilada, é descrito nos itens “a” a “f”, a seguir:

a) Cálculo do Indicador de Graus-Hora para Resfriamento

Como mencionado anteriormente, o cálculo deste indicador é variável, em função da localização em que está o empreendimento. Ele é calculado individualmente, para cada ambiente de permanência prolongada (APP) e, posteriormente, ponderado entre as áreas úteis dos demais ambientes, para determinação do resultado da UH. De maneira geral, o indicador de Graus-Hora para Resfriamento (GH_R) pode ser explicado como o somatório anual de horas em que o ambiente está com a temperatura acima da temperatura base de 26°C , necessitando resfriamento para atingir esta condição. Quando o ambiente está abaixo dos 26°C , resultando em um valor negativo quando feita a subtração, deve-se ignorar este resultado e o indicador deve ser considerado zero.

b) Cálculo do Consumo Relativo para Aquecimento

O Consumo Relativo para Aquecimento (C_A), também calculado individualmente para cada ambiente de permanência prolongada, é um indicador de consumo total anual de energia (kWh/m^2) para se obter uma temperatura base de 22°C , durante o período de 21h às 8h, ao longo de todos os dias do ano. Vale ressaltar que este é um indicador utilizado para a avaliação do desempenho térmico da envoltória, e não reflete o consumo real do ambiente. Da mesma forma que para o cálculo dos Graus-Hora para Resfriamento, a equação utilizada para o cálculo do Consumo Relativo para Aquecimento também tem seus parâmetros variáveis, em função da Zona Bioclimática em que está localizada a UH.

c) Determinação dos Equivalente Numéricos da Envoltória dos Ambientes para Resfriamento e Aquecimento

A partir dos valores calculados do Indicador de Graus-Hora para Resfriamento (GH_R) e do Consumo Relativo para Aquecimento (C_A) é possível determinar o equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento ($EqNumEnvAmb_{Resf}$) e o equivalente numérico da envoltória do ambiente para aquecimento ($EqNumEnvAmb_A$), de cada ambiente de permanência prolongada, sempre de acordo com a Zona Bioclimática em que a localização está localizada. Este equivalente numérico é obtido enquadrando-se os valores calculados dentro de uma das faixas de intervalo de valores previstos nas tabelas abaixo.

d) Determinação do Equivalente Numérico da Envoltória da Unidade Habitacional Autônoma para Resfriamento

A determinação do equivalente numérico da envoltória da UH para resfriamento ($EqNumEnv_{Resf}$) é calculado ponderando-se os valores de $EqNumEnv_{Amb_{Resf}}$ pelas áreas úteis dos ambientes de permanência prolongada avaliados (AU_{amb}).

e) Determinação do Equivalente Numérico da Envoltória da Unidade Habitacional Autônoma para Aquecimento

A determinação do equivalente numérico da envoltória da UH para aquecimento ($EqNumEnv_A$) é calculado ponderando-se os valores de $EqNumEnv_{Amb_A}$ pelas áreas úteis dos ambientes de permanência prolongada avaliados (AU_{amb}).

f) Determinação do Equivalente Numérico da Envoltória da Unidade Habitacional Autônoma

Da mesma forma que para os cálculos anteriores, a determinação do Equivalente Numérico da Envoltória da UH Autônoma ($EqNumEnv$) se dá de maneira específica, em função da localização do empreendimento. Para a Zona Bioclimática 3, ele é calculado utilizando a equação 4.

$$EqNumEnv = 0,64 \times EqNumEnv_{Resf} + 0,36 \times EqNumEnv_A$$

(Equação 4)

Onde:

$EqNumEnv$: equivalente numérico da envoltória da UH;

$EqNumEnv_{Resf}$: equivalente numérico da envoltória da UH para resfriamento;

$EqNumEnv_A$: equivalente numérico da envoltória da UH para aquecimento;

7.3 SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA

Juntamente com o resultado calculado do desempenho térmico da envoltória da edificação, faz parte da composição da pontuação da eficiência energética da UH o desempenho do sistema de aquecimento de água. Para as considerações do regulamento, são analisados apenas os sistemas que serão entregues instalados pelo empreendedor. Sendo assim, sistemas de esperas para futuras instalações de sistema de aquecimento de água não são considerados.

7.3.1 Pré-Requisitos do Sistema de Aquecimento de Água

É premissa básica para os sistemas de aquecimento de água que eles sejam apropriados para a função de condução a que se destinam e que atendam às normas técnicas correspondentes. Como pré-requisito para o atingimento dos níveis A e B, o projeto de instalações hidrossanitárias que prevê a utilização de tubulação não metálica deve especificar materiais com condutividade térmica entre 0,032 e 0,042 W/mK e isolamento com, no mínimo, 1,0cm para diâmetros de até 40mm.

7.3.2 Determinação do Equivalente Numérico do Sistema de Aquecimento de Água

O sistema de aquecimento de água, da mesma forma que o sistema de envoltória, deve ter sua eficiência estabelecida através do equivalente numérico mostrado na tabela 1, a partir dos resultados obtidos do método descrito a seguir.

Excetuando-se as regiões Norte e Nordeste, o método exige rigorosamente a entrega da unidade com o sistema de aquecimento de água instalado. A exigência é justificada pelo fato de, caso o imóvel não tenha um sistema instalado e o usuário queira aquecer a água para o banho, por exemplo, ele fica restrito ao uso de chuveiro elétrico. Portanto, para uma UH sem um sistema de aquecimento de água instalado, o nível de eficiência atribuído para este critério é o menor possível (nível E), ou seja, um equivalente numérico de aquecimento de água (EqNumAA) igual a 1.

7.3.3 Sistema de Aquecimento a Gás

O regulamento prevê a utilização dos sistemas de aquecimento a gás, instantâneo ou por acumulação, sendo que em ambos os casos os aquecedores devem possuir ENCE A ou B para que

seja possível o atingimento do nível A. Também é mencionada a necessidade de um correto posicionamento do aquecedor, para proteção contra intempéries e de maneira a garantir a ventilação necessária para o correto funcionamento do aparelho, assim como serem instalados conforme a NBR 13103.

Para classificação nos níveis A ou B de aquecedores a gás do tipo instantâneo, a potência do sistema de aquecimento informada pelo projetista deve estar dentro de uma variação de 20%, para mais ou para menos, do dimensionamento realizado, conforme a metodologia que será exposta a seguir.

Primeiramente determina-se a vazão do aquecedor a gás do tipo instantâneo, que deve ser igual ou maior ao somatório das vazões dos pontos de consumo, que podem estar funcionando simultaneamente. Então, calcula-se a potência do aquecedor, de acordo com a equação 5.

$$Q = \frac{m_{m\acute{a}xima} \times c \times (T_{consumo} - T_{\acute{a}gua\ fria})}{860}$$

(Equação 5)

Onde:

Q: potência útil do(s) aquecedor(es) (kW);

$m_{m\acute{a}xima}$: vazão máxima de água demandada simultaneamente (litros/h);

c: calor específico da água (igual a 1,00 cal/(g.°C));

$T_{consumo}$: temperatura de consumo de utilização (°C) (deve ser adotado no mínimo 40°C);

$T_{\acute{a}gua\ fria}$: temperatura da água fria no local da instalação (°C);

7.4 BONIFICAÇÕES

Está previsto no regulamento um sistema de bonificações para iniciativas do projeto que aumentem a eficiência energética das UHs. São elencados oito itens de melhoria, que podem ser obtidos de maneira individual ou agrupada, concedendo à edificação o acréscimo de até, no máximo, um ponto

na classificação geral, desde que as soluções sejam devidamente justificadas e comprovadas. A pontuação final das bonificações é estruturada conforme descrição da equação 6.

$$\text{Bonificações} = b1 + b2 + b3 + b4 + b5 + b6 + b7 + b8$$

(Equação 6)

Onde:

Bonificações: pontuação total atribuída às iniciativas que aumentam a eficiência da edificação;

b1, b2, b3, b4, b5, b6, b7, b8: pontuação individual das bonificações descritas nos itens 7.1.4.1 à 7.1.4.8, respectivamente;

7.4.1 Ventilação Natural (até 0,40 pontos)

Para obtenção desta bonificação, deve-se atender a uma porosidade mínima de 20%, em pelo menos duas fachadas com orientações distintas da edificação, fazendo a relação da área efetiva para ventilação e a área da fachada. Para edificações verticais, pode-se multiplicar este valor por um coeficiente redutor, que varia inversamente com o acréscimo de altura da unidade. Para este item são destinados 0,12 pontos.

Além disso, com uma possibilidade de ganho de até 0,16 pontos, são esperados dispositivos especiais que favoreçam a ventilação natural, sem perder a possibilidade de controle da incidência de luz natural, manutenção da privacidade e incidência de chuvas, como venezianas móveis, peitoris ventilados, entre outros.

Também dentro do quesito ventilação natural, 0,06 pontos podem ser obtidos quando aberturas externas possuem o seu centro geométrico localizado entre 0,40 e 0,70m, medidos a partir do piso.

7.4.2 Iluminação Natural (até 0,30 pontos)

Há duas maneiras de se alcançar pontuação adicional, no que diz respeito à iluminação natural. A primeira delas é verificando o atendimento da profundidade máxima de ambientes de permanência

prolongada, cozinhas e áreas de serviço, em relação à altura da abertura de iluminação natural lateral, o que pode garantir 0,20 pontos na classificação. Para um ambiente com aberturas em mais de uma parede, considera-se a de menor profundidade. Para validar o atendimento a este item deve-se respeitar a equação 7.

$$P \leq 2,4 \times h_a$$

(Equação 7)

Onde:

P: Profundidade do ambiente (m);

h_a : distância medida entre o piso e a parte superior útil da abertura para iluminação natural;

Além disso, também é considerada a refletância do teto dos ambientes de permanência prolongada, cozinhas e áreas de serviço que, possuindo um valor acima de 60%, recebem mais 0,10 pontos na classificação.

7.4.3 Uso Racional da Água (até 0,20 pontos)

Estão previstos no regulamento uma série de itens passíveis de pontuação extra, através de bonificação, quando aplicados no empreendimento. De maneira geral estas possibilidades estão relacionadas ao reaproveitamento de água ou então pela adoção de equipamentos que possuam dispositivos economizadores. A pontuação para estes sistemas, quando implantados de maneira individual ou combinada, se dá conforme equação 8.

$$b3 = 0,07 \times \frac{BS_{AP}}{BS} + 0,04 \times \frac{BS_E}{BS} + 0,04 \times \frac{CH_E}{CH} + 0,02 \times \frac{T_E}{T} + 0,03 \times \frac{OUTROS_{AP}}{OUTROS}$$

(Equação 8)

Onde:

b3: bonificação de uso racional da água;

BS_{AP}: quantidade de bacias sanitárias atendidas por água pluvial;

BS: quantidade de bacias sanitárias existentes;

BS_E: quantidade de bacias sanitárias com sistema de duplo acionamento;

CH_E: quantidade de chuveiros com restritor de vazão;

CH: quantidade de chuveiros existentes;

T_E: quantidade de torneiras com arejador de vazão constante (6 litros/minuto), regulador de vazão ou restritor de vazão;

T: quantidade de torneiras existentes;

OUTROS_{AP}: quantidade de outros pontos atendidos por águas pluviais, excetuando-se as bacias sanitárias;

OUTROS: quantidade de outros pontos possíveis de serem atendidos por águas pluviais, excetuando-se as bacias sanitárias;

7.4.4 Condicionamento Artificial de Ar (áte 0,20 pontos)

Para a obtenção desta bonificação é necessário que a UH já tenha atingido o nível A em eficiência, quando condicionada artificialmente (EqNumEnv_{Refrig}). A partir desta base, é necessário que os condicionadores de ar tipo janela ou *split* instalados na UH possuam ENCE A ou Selo Procel e estejam de acordo com as normas brasileiras.

7.4.5 Iluminação Artificial (até 0,10 pontos)

A obtenção destes pontos está relacionada com o atendimento dos seguintes itens:

- a) 0,05 pontos: as UHs devem possuir 50% das fontes de iluminação artificial com eficiência maior que 75 lm/W;
- b) 0,10 pontos: as UHs devem possuir 100% das fontes de iluminação artificial com eficiência maior que 75 lm/W;

7.4.6 Ventiladores de Teto (0,10 pontos)

Para as Zonas Bioclimáticas de 2 a 8, dois terços dos ambientes de permanência prolongada devem possuir instalados ventiladores de teto, com Selo Procel, para a obtenção desta bonificação.

7.4.7 Refrigeradores (0,10 pontos)

As UHs devem possuir instalados refrigeradores com ENCE A ou Selo Procel e garantir que a sua instalação seja efetuada sob os critérios determinados pelo fabricante. Deve-se garantir, também, que eles não estejam expostos ao sol ou próximos a outras fontes de calor.

7.4.8 Medição Individualizada (0,10 pontos)

Caso o sistema de aquecimento de água na edificação seja partilhado entre mais de uma UH, este deve possibilitar medição individualizada.

7.5 PLANILHA DE CÁLCULO DE DESEMPENHO

Para a análise unificada de todos os parâmetros expostos nos itens anteriores e obtenção de um resultado de classificação final, será utilizada a “Planilha de cálculo de desempenho da UH – método prescritivo”. Esta planilha foi desenvolvida pelo Centro Brasileiro de Eficiência Energética de Edificações (CB3E), para o PBE Edifica, com o objetivo de auxiliar o processo de classificação, analisando o desempenho dos ambientes, os pré-requisitos, as bonificações, o sistema de aquecimento de água e, por fim, a pontuação total da edificação.

A figura X exemplifica a sistemática da planilha na análise da envoltória e seus pré-requisitos, para uma APP de uma UH. O processo, conforme mostrado, deve ser repetido para cada uma das APP, dentro da mesma planilha, e para cada UH deve-se utilizar um arquivo novo. A figura XX mostra os resultados da planilha para a pontuação final da UH e para cada item.

Figura 20 - Planilha PBE Edifica - Análise da Envoltória e Pré-Requisitos

Análise da Envoltória e dos Pré-Requisitos dos Ambientes RTQ - Edificações Residenciais

TERMO DE RESPONSABILIDADE (passe o mouse)

Zona Bioclimática	ZB	DETALHE IMPORTANTE: após os cálculos não modificar a zona bioclimática da célula E10	ZB3
Ambiente	Identificação	adimensional	Cozinha/Lavand
	Área útil do APP	m ²	8,86
Situação do piso e cobertura	Cobertura	adimensional	0
	Contato com solo	adimensional	0
	Sobre Pilotis	adimensional	0
Cobertura	Ucob	W/m ² .K	0,00
	CTcob	kJ/m ² .K	1,00
	αcob	adimensional	0,00
Paredes Externas	Upar	W/m ² .K	2,27
	CTpar	kJ/m ² .K	197,26
	αpar	adimensional	0,61
Característica construtiva	CTbaixa	binário	0
	CTalta	binário	0
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	NORTE	m ²	0,00
	SUL	m ²	3,03
	LESTE	m ²	0,00
	OESTE	m ²	0,00
Áreas de Aberturas Externas	NORTE	m ²	0,00
	SUL	m ²	1,72
	LESTE	m ²	0,00
	OESTE	m ²	0,00
Características das Aberturas	Fvent	adimensional	0,80
	Somb	adimensional	0,50
Características Gerais	Área das Paredes Internas	m ²	20,98
	Pé Direito	m	2,40
	C altura	adimensional	0,271
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário	0
	vid	binário	0
	Uvid	W/m ² .K	0
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR	°C.h	B 1248
Consumo Relativo para Aquecimento	CA	kWh/m ² .ano	B 6,502
Consumo Relativo para Refrigeração	CR	kWh/m ² .ano	Não se aplica 0,000

(fonte: LAMBERTS, 2014, Conjunto de Planilhas Microsoft Excel®)

Figura 21 - Planilha PBE Edifica - Análise classificação Final UH

Análise da classificação final da UH
RTQ - Edificações Residenciais

Pontuação Total	Identificação	207
	Envoltória para Verão	C
		2,92
	Envoltória para Inverno	B
		4,05
	Aquecimento de Água	E
		1,00
	Equivalente numérico da envoltória	C
		3,33
	Envoltória se refrigerada artificialmente	D
	2,22	
Bonificações	0,49	
Região	Sul	
Coeficiente a	0,65	

Classificação final da UH	C
Pontuação Total	3,00

(fonte: LAMBERTS, 2014, Conjunto de Planilhas Microsoft Excel®)

8 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Neste capítulo será analisada a eficiência energética da edificação, conforme metodologia apresentada no capítulo anterior. Serão expostas todas as propriedades dos materiais e a caracterização do projeto necessária para os cálculos e avaliações que conduzirão à nota final do edifício.

8.1 ENVOLTÓRIA

Neste item será abordada a análise da eficiência dos ambientes e das unidades, com relação ao desempenho energético das suas respectivas envoltórias.

8.1.1 Área dos ambientes

A tabela 5 mostra um resumo geral, com as áreas úteis das Unidades Habitacionais que foram levantadas em projeto e consideradas para os cálculos.

Tabela 5 - Áreas dos ambientes de permanência prolongada (APP)

APP	APTO 3D (m ²)	APTO 2D (m ²)
Suíte	12,95	13,08
Dormitório 1	7,18	7,35
Dormitório 2	7,02	-
Estar/Jantar	7,02	7,35
Circ Estar/Jantar	20,30	18,18
Cozinha/Lavanderia	2,87	1,36

(fonte: elaborado pelo autor)

8.1.2 Esquadrias

As UHs possuem, ao todo, cinco tipos de esquadrias diferentes. Entretanto, foram analisadas apenas as que pertencem a Ambientes de Permanência Prolongada, reduzindo este número para quatro. A tabela abaixo mostra as dimensões e propriedades levantadas e utilizadas nos cálculos.

Tabela 6 - Propriedades das aberturas

	Janela 1	Janela 2	Janela 3	Janela 4
Largura (cm)	251	136	196	121
Altura (cm)	162	142	142	142
Área do Vão (m ²)	4,07	1,93	2,78	1,72
F Vent (%)	31%	40%	40%	80%
Área Vent. (m ²)	1,26	0,77	1,11	1,37
F Ilumin (%)	65%	75%	75%	80%
Área Ilumin. (m ²)	2,64	1,45	2,09	1,37

(fonte: elaborado pelo autor)

8.1.3 Áreas de paredes de aberturas

Também para realização dos cálculos de trocas térmicas, foram levantadas as áreas das paredes internas e externas dos APPs, que seguem nas tabelas 7 e 8, juntamente com as áreas de aberturas destas paredes.

Tabela 7 - Áreas de paredes e aberturas - Apartamento 2D

APP	Áreas (m ²)		
	Paredes Internas	Paredes Externas	Aberturas
Suíte	35,19	5,47	2,78
Dormitório 1	22,46	4,82	1,93
Estar/Jantar	44,76	5,07	4,07
Cozinha/Lavanderia	20,18	2,76	1,72

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 8 - Áreas de paredes e aberturas - Apartamento 3D

APP	Áreas (m ²)		
	Paredes Internas	Paredes Externas	Aberturas
Suíte	24,44	15,74	2,78
Dormitório 1	21,52	5,09	1,93
Dormitório 2	21,82	5,09	1,93
Estar/Jantar	55,90	3,82	4,07
Cozinha/Lavanderia	20,98	3,03	1,72

(fonte: elaborado pelo autor)

Como um dos pré-requisitos de envoltória, o regulamento exige que seja atendido um percentual mínimo de 8% de abertura para ventilação, em relação à área do piso; caso contrário, a UH pode atingir classificação máxima nível C, no equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento ($EqNumEnvAmb_{Resfr}$). Desta forma, observou-se que os ambientes “Estar/Jantar”, de todas as UHs não atenderam ao solicitado, limitando as suas classificações deste item ao nível C.

Além disso, é estipulado que 50% dos banheiros da unidade, com exceção dos lavabos, deve possuir ventilação natural. No projeto objeto de estudo verificou-se que apenas as unidades de ponta, ou seja, finais 02, 03, 06 e 07 atendem este pré-requisito, conferindo às demais possibilidade de obtenção de, no máximo, nível B, para o equivalente numérico da envoltória da unidade.

No quesito ventilação cruzada, nenhuma unidade atingiu os parâmetros estipulados pelo regulamento. As únicas unidades que possuem aberturas para mais de uma fachada e permitiriam ventilação cruzada natural são as de ponta, considerando as aberturas da fachada principal e a abertura da Cozinha/Lavanderia; todavia, elas não atendem a proporção de área exigida; portanto, não atingem este pré-requisito.

Finalmente, o regulamento também exige que a área efetiva de iluminação natural das aberturas seja igual ou superior a 12,5% da área de piso útil do ambiente, para obtenção de nível superior. Neste pré-requisito todos os ambientes de permanência prolongada obtiveram êxito.

8.1.4 Propriedades físicas dos componentes construtivos

Para a realização dos cálculos de eficiência da envoltória das UHs são necessários alguns dados dos materiais aplicados na construção, para que as equações de regressão múltipla do regulamento sejam alimentadas. O projeto possui uma gama grande de materiais distintos aplicados na sua envoltória e dispostos de maneira a proporcionar comportamentos diferentes, para cada trecho de parede interna, externa ou cobertura. Desta maneira, é necessário que se entenda cada elemento construtivo como um sistema composto de camadas, cada uma com suas propriedades físicas específicas.

De maneira geral, as propriedades exigidas pelas equações para o cálculo são a Transmitância Térmica (U), a Capacidade Térmica (C_T) e a Absortância (α). Estes dados foram encontrados para

os materiais, de maneira genérica, na NBR 15220-2 e então calculados de maneira a atender os elementos do projeto em estudo. Também foi utilizado o Anexo Geral V, da Portaria nº 50, do INMETRO, como base de alguns sistemas já montados; porém, também ajustados para as condições do projeto. A partir disso, foi montada uma tabela com a relação de todos os possíveis sistemas que comporiam a envoltória da edificação, apresentada a seguir.

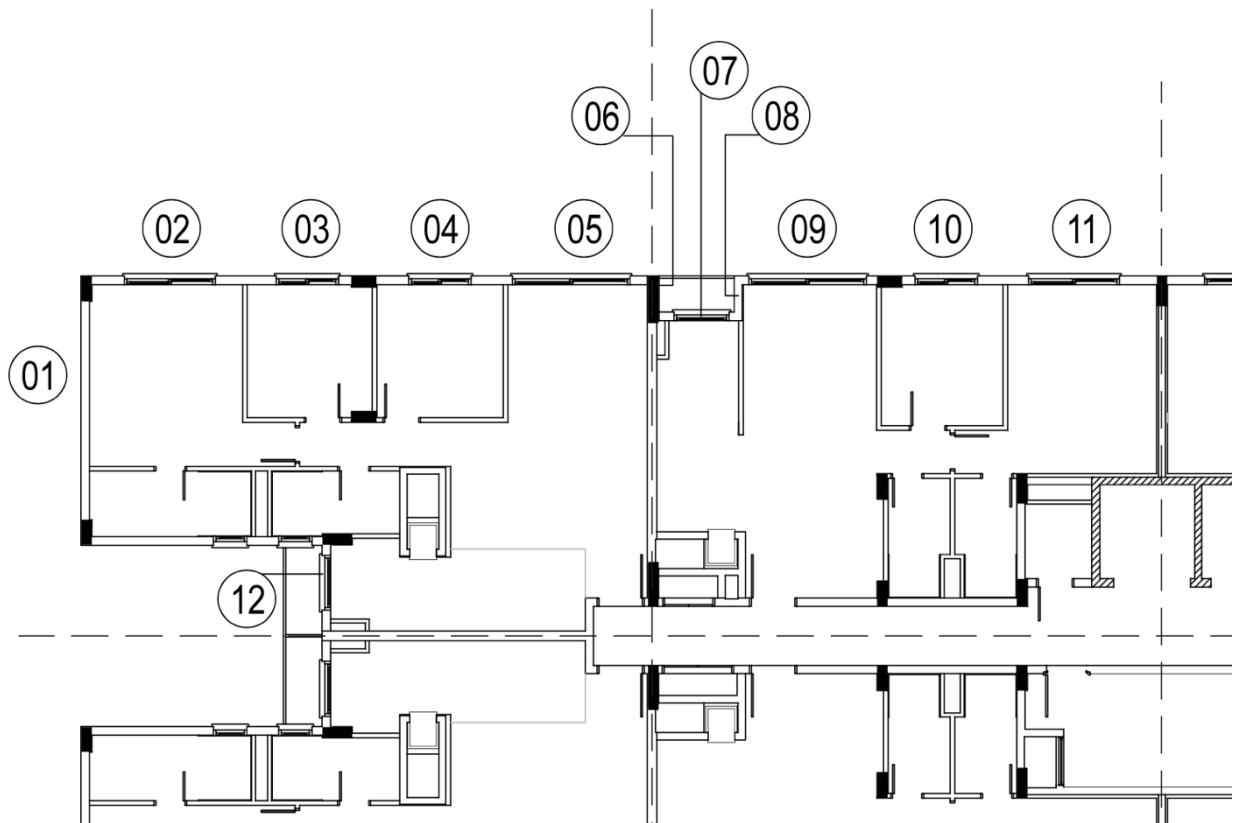
Tabela 9 - Propriedades físicas dos materiais/sistemas empregados na edificação

Tipologia	U (W/m ² .K)	CT (kJ/m ² .K)	α		
			Branco	Cinza claro	Cinza Escuro
Alvenaria Pintura - Branco					
Reboco interno = 1,5cm Bloco cerâmico = 14cm Reboco externo = 2,5cm	1,91	135,15	0,16	0,61	0,86
Alvenaria Pastilha					
Reboco interno = 1,5cm Bloco cerâmico = 14cm Reboco externo = 2,5cm Pastilha cerâmica = 0,9cm	1,87	156,38	-	-	0,78
Estrutura Pintura - Branco					
Reboco interno = 1,5cm Concreto armado = 14cm Reboco externo = 2,5cm	3,51	414,51	0,16	0,61	0,86
Estrutura Pastilha					
Reboco interno = 1,5cm Concreto armado = 14cm Reboco externo = 2,5cm Pastilha cerâmica = 0,9cm	3,38	435,74	-	-	0,78

(fonte: elaborado pelo autor)

Todavia, para a aplicação das equações do método, é necessário um valor correspondente à área inteira do elemento. Como uma única parede de fachada, por exemplo, é composta por trechos de alvenaria com pintura, alvenaria com pastilha, viga de concreto com pintura, entre outras possibilidades, é necessário chegar a um valor comum, que reflita de maneira aproximada o comportamento global. Para isso, se identificou os possíveis tipos de combinações em paredes e se ponderou as áreas correspondentes a cada material que às compunha. A figura 23, a seguir, identifica e enumera os diferentes tipos de paredes encontradas na fachada e a tabela 10 mostra, como exemplo, o cálculo feito para a parede 3.

Figura 22 - Numeração das possíveis combinações de materiais nas paredes



(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 10 - Cálculo das propriedades da parede nº 3 através da ponderação dos sistemas que a formam

PAREDE 3					
Item	Área (m ²)	U (W/m ² .K)	CT (kJ/m ² .K)	α	%
Alvenaria Pintura - Branco	1,22	1,91	135,15	15,80	24,0%
Alvenaria Pintura - Cinza Claro	1,31	1,91	135,15	61,10	25,8%
Alvenaria Pastilha	0,60	1,87	156,38	77,76	11,7%
Estrutura Pintura - Branco	0,52	3,51	414,51	15,80	10,2%
Estrutura Pintura - Cinza Claro	0,22	3,51	414,51	61,10	4,3%
Estrutura Pastilha	1,22	3,38	435,74	77,76	24,1%
TOTAL	5,09	2,49	250,19	51,57	100,0%

(fonte: elaborado pelo autor)

De posse dos valores finais ponderados, analisou-se o atendimento aos pré-requisitos de transmitância, capacidade térmica e absorvância, referentes à Zona Bioclimática 3, impostos à construção (Item 7.2.1). Verificou-se o atendimento de praticamente todos os elementos, com

exceção da parede número 6 que, mesmo ponderada com as propriedades da parede número 7 para compor a média considerada para o ambiente de permanência prolongada “estar/jantar”, resultou em uma transmitância térmica (U) de $2,72 \text{ W/m}^2.\text{K}$ quando o limite é $2,50 \text{ W/m}^2.\text{K}$.

Ainda estudando as propriedades físicas dos componentes da envoltória, foram ponderadas as Capacidades Térmicas das paredes externas, paredes internas e fechamentos superiores, a fim de identificar se a característica construtiva se enquadrava em alta ($> 250\text{kJ/m}^2.\text{K}$) ou baixa ($< 50\text{kJ/m}^2.\text{K}$) Capacidade Térmica, segundo o regulamento. Para as UHs sem contato do forro com o ambiente externo, todas ficaram classificadas na faixa intermediária, não se enquadrando, nem em alta, nem em baixa capacidade térmica (Tabela 11).

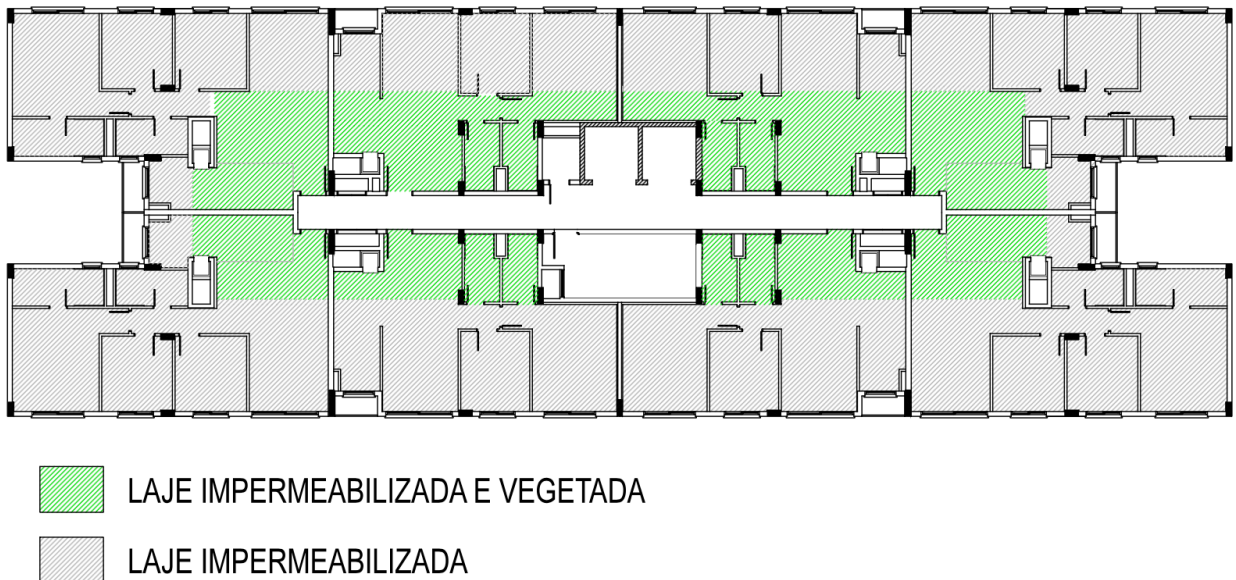
Tabela 11 - Capacidades térmicas dos APPs ($\text{kJ/m}^2.\text{K}$)

APP	2º ao 10º Pavimento		11º Pavimento	
	2D	3D	2D	3D
Suíte	149,16	153,05	244,68	183,86
Dormitório 1	128,66	128,74	128,66	128,74
Dormitório 2	-	121,13	-	121,13
Estar/Jantar	143,09	145,66	243,71	81,33
Cozinha/Lavanderia	158,72	174,21	158,72	174,21

(fonte: elaborado pelo autor)

Para o 11º pavimento, onde o fechamento superior é a laje de cobertura composta por trechos de laje de concreto impermeabilizada e por trechos de laje vegetada, ponderou-se as áreas pelas propriedades de cada situação e se concluiu que esta mudança não ocasionaria mudança na faixa de enquadramento de capacidade térmica alta ou baixa dos ambientes. Todavia, esta característica da laje de cobertura influencia nas propriedades da laje propriamente dita, o que ocasiona um comportamento diferente para cada UH, em função de cada APP possuir uma fração diferente de laje vegetada sobre si, conforme mostra a figura 22.

Figura 23 - Distribuição das áreas de laje vegetada na cobertura



(fonte: elaborado pelo autor)

8.2 SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA

Na edificação objeto de estudo, nenhuma das unidades é entregue com sistema instalado de aquecimento de água, mas apenas as esperas e tubulações devidamente projetadas para o atendimento desta demanda, via sistema de aquecimento instantâneo de gás. Todavia, é pré-requisito básico do regulamento a existência de sistema completo instalado, para então ser realizada a avaliação. Portanto, o nível E é o máximo possível a ser atingido pela UH neste momento, para o equivalente numérico de aquecimento de água (EqNumAA).

8.3 BONIFICAÇÕES

Em relação às bonificações, dois itens apresentaram atendimento pela totalidade das Unidades Habitacionais. Primeiramente, todas as APPs apresentam refletância do teto maior que 0,6, pelo fato de estes serem pintados de branco, conferindo à UH 0,1 pontos de bonificação. Além deste, outro item bonificado em todas as UHs foi o de profundidade dos ambientes, para um melhor aproveitamento da iluminação natural, verificado pelo atendimento da equação 7, na maioria dos ambientes. Esta condição bonificou as UHs com 0,2 pontos na classificação final.

Além disso, as UHs de final 02, 03, 06 e 07 (3 dormitórios), localizadas a partir do terceiro pavimento também obtiveram bonificação, em função da porosidade mínima de fachada exigida para ventilação natural. Por terem aberturas para mais de uma fachada e se beneficiarem dos coeficientes de redução de porosidade em função da altura, estas unidades ganham mais 0,12 pontos no cômputo geral.

Por fim, por serem entregues com bacias sanitárias, torneiras e outros equipamentos que possuem dispositivos economizadores de água, como reguladores de vazão, as UHs ganham mais 0,07 pontos de bonificação, no nível de eficiência final.

8.4 CLASSIFICAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

De posse de todas as análises feitas anteriormente e dos resultados dos cálculos obtidos através da planilha disponibilizada pelo PBE Edifica, chegou-se à classificação final das UHs, em relação à sua eficiência energética. Foram calculados os 80 apartamentos que compõem a torre de maneira individual e então ponderadas as suas notas pelas suas respectivas áreas, a fim de obter o resultado final da edificação, como um todo, chegando à pontuação de 2,85 e conferindo a classificação nível “C” de eficiência energética (Tabela 12).

Tabela 12 - Classificação final da edificação

Apto	Final 01	Final 02	Final 03	Final 04	Final 05	Final 06	Final 07	Final 08
11º Pavto	2,87	2,59	2,59	2,52	2,52	2,52	2,67	2,70
10º Pavto	2,93	2,82	2,76	2,93	2,86	2,95	3,00	2,86
9º Pavto	2,93	2,82	2,76	2,93	2,86	2,95	3,00	2,86
8º Pavto	2,93	2,82	2,76	2,93	2,86	2,95	3,00	2,86
7º Pavto	2,93	2,82	2,76	2,93	2,86	2,95	3,00	2,86
6º Pavto	2,93	2,82	2,76	2,93	2,86	2,95	3,00	2,86
5º Pavto	2,93	2,82	2,76	2,93	2,86	2,95	3,00	2,86
4º Pavto	2,93	2,82	2,76	2,93	2,86	2,95	3,00	2,86
3º Pavto	2,93	2,82	2,76	2,93	2,86	2,95	3,00	2,86
2º Pavto	2,93	2,70	2,67	2,90	2,90	2,82	2,88	2,86
Área (m2)	64,00	80,00	80,00	64,00	64,00	80,00	80,00	64,00
PT Média	2,92	2,79	2,73	2,89	2,83	2,89	2,96	2,84
PONTUAÇÃO FINAL DA EDIFICAÇÃO					2,85	C		

(fonte: elaborado pelo autor)

9 PROPOSTAS DE MELHORIAS

Como proposto pelo trabalho, neste capítulo serão estudadas soluções que elevem o nível de eficiência energética originalmente atingido pela edificação. É almejado o atingimento do nível “A” de eficiência e para tal serão testadas modificações de projeto e/ou especificações do manual e memorial do proprietário, que agreguem pontos na classificação final.

Como premissa para a escolha destas alterações será considerado o fato de a edificação objeto de estudo estar em construção, na fase de estrutura, no momento da elaboração deste trabalho. Desta maneira, serão priorizadas mudanças que sejam viáveis de uma possível intervenção, ainda durante a execução do empreendimento e que causem o menor impacto possível na sequência executiva e nos projetos já elaborados em andamento.

9.1 SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA

A primeira alteração analisada se refere ao sistema de aquecimento de água. Como verificado na equação 1, 35% da nota final da edificação, na região Sul, corresponde ao desempenho deste sistema. Por não estar prevista entrega de nenhum equipamento para este fim, os resultados das análises anteriores levaram a nota correspondente a este item para o pior patamar possível, o nível “E”, rebaixando muito a nota final das UHs.

Portanto, como primeira grande e significativa definição de adaptação, foi proposta a entrega das unidades já com a instalação de aquecedores de água a gás, do tipo passagem e, para ter validade frente ao regulamento, estes equipamentos devem possuir certificação e eficiências comprovadas pelo Inmetro.

Primeiramente, se buscou dimensionar este equipamento para uma correta especificação que levasse o nível de eficiência à classificação nível “A”. De acordo com o projeto de instalações hidráulicas e de gás do empreendimento, o sistema foi dimensionado para atender equipamentos de até 24L/min com Gás Natural. Além disso, em função das características climáticas da localização do empreendimento, definiu-se um gradiente de temperatura de operação do equipamento de 25°C. Com estas informações e utilizando a equação 5, chegou-se a uma potência

útil do equipamento de 41,86kW, podendo variar entre 33,49kW e 50,23kW, devido à margem de 20%, para mais ou para menos, permitida pelo regulamento.

Com esta definição buscou-se, junto à tabela fornecida no site do Inmetro de aquecedores registrados e certificados, um modelo que atendesse aos requisitos de tipo de gás, vazão máxima, potência e nível de certificação do PBE. Optou-se pelo modelo Bosch GWH 500 Plus CTDE, que opera com 23L/min, em uma potência de 38,1kW, e possui certificação nível “A”.

Além disso, definiu-se, também, que seriam realizadas adaptações nas tubulações de água quente, para que as exigências do regulamento fossem atendidas a pleno, garantindo a classificação nível “A” para o EqNumAA. Para isso, foi definido que as tubulações seriam envolvidas por um material isolante, com espessura de 1cm, ao longo de todos seu comprimento.

Com essas modificações feitas, calculou-se e ponderou-se novamente as notas das UHs pelas suas áreas. Os resultados estão detalhados na tabela 13, que mostra uma melhora significativa na pontuação final da edificação, levando-a a nível “B”, com 4,35 pontos. Todavia, as alterações ainda não foram suficientes para o atingimento do nível máximo, o que levou ao estudo de novas modificações.

Tabela 13 – Classificação da edificação após instalação de sistema de aquecimento de água

Apto	Final 01	Final 02	Final 03	Final 04	Final 05	Final 06	Final 07	Final 08
11º Pavto	4,37	4,09	4,09	4,02	4,02	4,02	4,17	4,20
10º Pavto	4,43	4,32	4,26	4,43	4,36	4,45	4,50	4,36
9º Pavto	4,43	4,32	4,26	4,43	4,36	4,45	4,50	4,36
8º Pavto	4,43	4,32	4,26	4,43	4,36	4,45	4,50	4,36
7º Pavto	4,43	4,32	4,26	4,43	4,36	4,45	4,50	4,36
6º Pavto	4,43	4,32	4,26	4,43	4,36	4,45	4,50	4,36
5º Pavto	4,43	4,32	4,26	4,43	4,36	4,45	4,50	4,36
4º Pavto	4,43	4,32	4,26	4,43	4,36	4,45	4,50	4,36
3º Pavto	4,43	4,32	4,26	4,43	4,36	4,45	4,50	4,36
2º Pavto	4,43	4,20	4,17	4,40	4,40	4,32	4,38	4,36
Área (m2)	64,00	80,00	80,00	64,00	64,00	80,00	80,00	64,00
PT Média	4,42	4,29	4,23	4,39	4,33	4,39	4,46	4,34
PONTUAÇÃO FINAL DA EDIFICAÇÃO					4,35	B		

(fonte: elaborado pelo autor)

9.2 ENVOLTÓRIA

Analisando o comportamento da envoltória através de variações de propriedades e de valores na planilha de cálculo, se observou que o fator “Somb”, das características das aberturas, tinha grande contribuição sobre o resultado do APP. O fator é indicador da presença, ou não, de dispositivos de sombreamento para a abertura, o que, de fato, representa grande influência sobre a eficiência energética, uma vez que permite o bloqueio da incidência solar.

Pelas propriedades das aberturas originais, apenas as pertencentes aos dormitórios possuíam sistema de persiana, que permitia o bloqueio total da abertura quando fechada. Sendo assim, decidiu-se adotar a mesma solução para as janelas da sala e alterar seu modelo para uma com as mesmas dimensões, para iluminação e ventilação, porém com sistema de persiana. Esta alteração muda o coeficiente de “Somb” de zero para um, e eleva a pontuação de eficiência da envoltória da APP.

A tabela 14 mostra o EqNumEnv no projeto original e a tabela 15 mostra o resultado, após inclusão do sistema de persiana na janela da sala das UHs.

Tabela 14 - EqNumEnv do projeto original

Apto	Final 01	Final 02	Final 03	Final 04	Final 05	Final 06	Final 07	Final 08
11º Pavto	3,30	2,69	2,69	2,76	2,76	2,59	2,82	3,05
10º Pavto	3,40	3,04	2,96	3,40	3,29	3,25	3,33	3,29
9º Pavto	3,40	3,04	2,96	3,40	3,29	3,25	3,33	3,29
8º Pavto	3,40	3,04	2,96	3,40	3,29	3,25	3,33	3,29
7º Pavto	3,40	3,04	2,96	3,40	3,29	3,25	3,33	3,29
6º Pavto	3,40	3,04	2,96	3,40	3,29	3,25	3,33	3,29
5º Pavto	3,40	3,04	2,96	3,40	3,29	3,25	3,33	3,29
4º Pavto	3,40	3,04	2,96	3,40	3,29	3,25	3,33	3,29
3º Pavto	3,40	3,04	2,96	3,40	3,29	3,25	3,33	3,29
2º Pavto	3,40	3,04	3,00	3,35	3,35	3,23	3,33	3,29
Área (m2)	64,00	80,00	80,00	64,00	64,00	80,00	80,00	64,00
PT Média	3,39	3,01	2,94	3,33	3,24	3,18	3,28	3,27
PONTUAÇÃO FINAL DA EDIFICAÇÃO					3,19	C		

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 15 - EqNumEnv após inclusão de persiana na janela da sala

Apto	Final 01	Final 02	Final 03	Final 04	Final 05	Final 06	Final 07	Final 08
11º Pavto	3,56	2,92	2,92	3,27	3,02	3,05	3,05	3,30
10º Pavto	3,66	3,50	3,19	3,66	3,80	3,48	3,56	3,80
9º Pavto	3,66	3,50	3,19	3,66	3,80	3,48	3,56	3,80
8º Pavto	3,66	3,50	3,19	3,66	3,80	3,48	3,56	3,80
7º Pavto	3,66	3,50	3,19	3,66	3,80	3,48	3,56	3,80
6º Pavto	3,66	3,50	3,19	3,66	3,80	3,48	3,56	3,80
5º Pavto	3,66	3,50	3,19	3,66	3,80	3,48	3,56	3,80
4º Pavto	3,66	3,50	3,19	3,66	3,80	3,48	3,56	3,80
3º Pavto	3,66	3,50	3,19	3,66	3,80	3,48	3,56	3,80
2º Pavto	3,66	3,50	3,46	3,60	3,60	3,46	3,56	3,80
Área (m2)	64,00	80,00	80,00	64,00	64,00	80,00	80,00	64,00
PT Média	3,65	3,44	3,19	3,62	3,70	3,44	3,51	3,75
PONTUAÇÃO FINAL DA EDIFICAÇÃO					3,52	B		

(fonte: elaborado pelo autor)

9.4 CLASSIFICAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

Após as intervenções realizadas no sistema de aquecimento de água e no tipo de abertura presente na APP de Estar/Jantar, chegou-se em uma nova pontuação final para as UHs e, conseqüentemente, para a edificação. A tabela 16 resume as pontuações finais de cada UH e mostra também a pontuação final obtida para a, edificação, como um todo, após as modificações propostas.

TABELA 16 - Classificação final da edificação após modificações propostas

Apto	Final 01	Final 02	Final 03	Final 04	Final 05	Final 06	Final 07	Final 08
11º Pavto	4,53	4,24	4,24	4,35	4,18	4,32	4,32	4,37
10º Pavto	4,60	4,62	4,41	4,60	4,69	4,60	4,65	4,69
9º Pavto	4,60	4,62	4,41	4,60	4,69	4,60	4,65	4,69
8º Pavto	4,60	4,62	4,41	4,60	4,69	4,60	4,65	4,69
7º Pavto	4,60	4,62	4,41	4,60	4,69	4,60	4,65	4,69
6º Pavto	4,60	4,62	4,41	4,60	4,69	4,60	4,65	4,69
5º Pavto	4,60	4,62	4,41	4,60	4,69	4,60	4,65	4,69
4º Pavto	4,60	4,62	4,41	4,60	4,69	4,60	4,65	4,69
3º Pavto	4,60	4,62	4,41	4,60	4,69	4,60	4,65	4,69
2º Pavto	4,60	4,50	4,47	4,56	4,56	4,47	4,53	4,69
Área (m2)	64,00	80,00	80,00	64,00	64,00	80,00	80,00	64,00
PT Média	4,59	4,57	4,40	4,57	4,63	4,56	4,61	4,66
PONTUAÇÃO FINAL DA EDIFICAÇÃO					4,57	A		

10 CONCLUSÕES

Primeiramente, a energia empenhada no desenvolvimento deste trabalho trouxe resultados que permitiram ao autor aprimorar os conhecimentos relacionados a eficiência energética, outrora obtidos ao longo da sua formação. A revisão da literatura, a modelagem do problema e a análise dos dados gerados proporcionaram uma visão sistêmica do comportamento energético de edificações e como estes aspectos podem interagir entre si.

Com o manuseio da metodologia do RTQ-R, foi possível avaliar a sua aplicabilidade e identificar pontos positivos e negativos a destacar. Inicialmente, o trabalho se deparou com a dificuldade de interpretação das equações de regressão múltipla do regulamento utilizadas para o cálculo do desempenho da envoltória das unidades. No regulamento não há qualquer indicação da origem das equações ou explicação da sua funcionalidade. Pela quantidade de variáveis e extensão das equações, se torna bastante difícil uma avaliação intuitiva sobre como e quanto interferem as alterações das propriedades físicas dos materiais e das geometrias que formam o projeto. Desta forma, o usuário necessita sólido embasamento teórico e experiência na utilização do regulamento para conseguir projetar um empreendimento com o desempenho almejado durante a concepção. O processo de verificação é quase empírico, alterando-se alguns valores e sempre conferindo o impacto que foi causado.

Além disso, verificou-se, também, uma lacuna com relação à modelagem da ocupação dos ambientes. Não existem parâmetros ajustáveis dentro da ferramenta, que permitam equalizar as diferentes possibilidades de ocupação da edificação. Desta forma, os consumos de aquecimento e refrigeração, calculados através das equações, são definidos por uma rotina inerente ao processo do regulamento e não podem ser variados de um projeto para o outro.

Outro ponto a ser questionado é a ponderação de desempenhos entre envoltória, aquecimento de água e bonificações para obtenção da pontuação final. No projeto original, sem sistema de aquecimento de água, todas as unidades haviam obtido classificação nível “C”, com uma pontuação final de 2,85. Após a modificação e inclusão do sistema de aquecimento de água, a pontuação final da edificação subiu para 4,35 pontos, resultando em uma quase totalidade das unidades com nível “B” e oito unidades com nível “A”. Este acréscimo de mais de 50% na pontuação final apenas com a inclusão de um sistema de aquecimento de água é questionável, principalmente se tratando de um

produto que já é entregue com as esperas para aquecedores a gás e que, pelo padrão de empreendimento, terá naturalmente grande adesão a este sistema. Questiona-se, com este resultado, se a metodologia não carece de foco para a análise da envoltória em si, uma vez que, mesmo com um desempenho mediano para este item, a edificação consegue atingir um nível elevado instalando um sistema que, naturalmente, já seria adotado pelos usuários das unidades. Caso os pesos da pontuação final fossem revisados para este tipo de edifício, talvez fosse possível se obter desempenhos superiores para a envoltória.

Todavia, o método bonifica de maneira julgada adequada a adoção de sistemas que otimizem a utilização de energia elétrica e água. Este fator é um estimulante para que os empreendimentos sejam entregues com dispositivos mais eficientes e racionalizados, como reguladores de vazão e lâmpadas com baixo consumo.

A edificação objeto de estudo representa uma tipologia de construção bastante difundida no mercado imobiliário de Porto Alegre. Existem algumas preocupações de caráter sustentável percebidas no projeto, principalmente em dispositivos de água e luz; porém, não está inerente ainda, no desenvolvimento do produto, a preocupação com a envoltória das construções. É possível que, com a gradual aplicação de metodologias que façam a análise de eficiência energética de edificações, haja uma percepção maior deste ponto, por parte dos projetistas e empreendedores. Talvez a envoltória ainda careça da atenção devida por não ser percebida diretamente na entrega do produto, apenas na sua utilização, ao contrário de dispositivos que podem ser visualizados e simbolizam sustentabilidade. Este conceito precisa ser revisto pelo mercado e sociedade e o processo de certificação pode ser um catalisador desta mudança.

Talvez existam questões que possam ser revisadas para um aprimoramento da ferramenta de etiquetagem do RTQ-R do PBE Edifica. Entretanto, o programa se mostra interessante no aspecto de ser amplamente aplicado na sociedade. Já há uma familiaridade e boa aceitação da população para com o sistema de etiquetagem do PBE, praticado hoje em eletrodomésticos. Além disso, serviria de estímulo para o mercado da construção desenvolver projetos mais inteligentes, que impactassem menos no meio em que estão inseridos e entregassem mais conforto para os seus ocupantes.

11 REFERÊNCIAS

- ASHRAE. **Handbook of Fundamentals**. New York: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.
- BLAUERT, J.; ZADEK, S. **Mediating Sustainability**: Growing Policy from the Grassroots, 1st ed; Kumarian Press: West Hartford, CT, USA, 1998; pp. 57–58.
- BREEAM. **What is BREEAM?**, 2016. Disponível em: <<http://www.breeam.com/index.jsp>>. Acesso em: 14 nov. 2016.
- CAIXA ECONOMICA FEDERAL. **SELO CASA AZUL: Boas Práticas para Habitação Mais Sustentável**. São Paulo, 2010. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/Downloads/selo_azul/Selo_Casa_Azul.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2016.
- COLE, R.J., 1998. Emerging trends in building environmental assessment methods. *Building Research and Information* 26 (1), 3–16.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Construção Verde**: Desenvolvimento com Sustentabilidade. Encontro da Indústria para Sustentabilidade. Brasília, 2012. Disponível em: <http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2013/09/23/4970/20131002175850295139e.pdf>. Acesso em: 17 maio. 2016.
- CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos**: conforto ambiental. 2ed. Rio de Janeiro: Revan, 2010.
- DING, G. K. C. Sustainable construction – The role of environmental assessment tools. **Journal of Environmental Management**, [S. l.], v. 86, n. 3, Feb. 2008, p. 451-464. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479706004270>>. Acesso em: 29 out. 2016.
- FINNVEDEN, G.; PALM, V. Rethinking Producer Responsibility. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 61, Mar. 2002. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF02978847>>. Acesso em: 17 set. 2016.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 5 ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001. Disponível em: <http://resgatebrasiliavirtual.com.br/moodle/file.php/1/E-book/Ebooks_para_download/Higiene_Industrial_e_Meio_Ambiente/Manual_de_Conforto_Termico.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2016.
- FUNDAÇÃO VANZOLINI. **Certificação AQUA-HQE em detalhes**, 2016. Disponível em: <<http://vanzolini.org.br/aqua/certificacao-aqua-em-detalhes/>>. Acesso em: 18 nov. 2016

GIVONI, B. **Man, climate and architecture**. Londres: Appliede Science, 1969.

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. **Certificação LEED**, 2016. Disponível em: <<http://www.gbcbrasil.org.br/sobre-certificado.php>>. Acesso em: 04 nov. 2016.

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. **Empreendimentos LEED: gráficos de crescimento no Brasil**, [S. l.], 2015. Disponível em: <<http://www.gbcbrasil.org.br/graficos-empresendimentos.php>>. Acesso em: 06 nov. 2016.

HANSEN, A. M. D., **Padrões de consumo de energia elétrica em diferentes tipologias de edificações residenciais, em Porto Alegre**. 2000. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. Anexo da Portaria Inmetro N° 018/2012 Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais RTQ-R. Rio de Janeiro, 2012.

JUNNILA, S.; HORVATH, A. Lyfe-Cycle Environmental Effects of an Office Building. **Journal of Infrastructure Systems**, [S. l.], v. 9, n. 4, p. 157-166, Dec. 2003. Disponível em: <<http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%291076-0342%282003%299%3A4%28157%29>>. Acesso em: 17 set. 2016.

KINSEL, L. S. **Avaliação do conforto e da energia em edifícios residenciais de Porto Alegre**. 2009. 212 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

KOENIGSBERGER, O. H.; INGERSOLL, T. G.; MAYHEW, Alan; SZOKOLAY, S. V. **Manual of tropical housing and building. Parto ne: Climatic design**. London: Longman Group Limited, 1973.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2013.

LAMBERTS, R. **Planilha de cálculo do desempenho da UH**. [S. l.: s. n.], 2014, Conjunto de Planilhas Microsoft Excel®. Disponível em: <<http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/residencial/planilhas-catalogos>>. Acesso em 26 de jan. 2017.

LEE, W. L. Benchmarking energy use of building environmental assessment schemes. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 45, p. 326-334, Feb. 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811005706>>. Acesso em: 05 nov. 2016.

MACHADO, F. P. **Contribuição ao estudo do clima do Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro: IBGE, 1950.

MARQUARDT, H. E. **Determinantes climatológicos para a arquitetura em Porto Alegre e R. G. do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 1969.

MASCARÓ, J. L.; MASCARÓ, L. (Coord.). **Incidência das variáveis projetivas e de construção consumo energético dos edifícios**. 2. ed. Porto Alegre: Sagra-DC Luzzatto, 1992.

MASCARÓ, L. R. *Energia na Edificação: estratégia para minimizar seu consumo*. São Paulo: Parma, 1985.

MATEUS, R. F. M. da S. **Avaliação da Sustentabilidade da Construção**: propostas para o desenvolvimento de edifícios mais sustentáveis. 2009. 427 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade do Minho, Braga, 2009. Disponível em: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/9886/1/Tese%20Doutoramento_Ricardo%20Mateus_2009.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2016.

MEDEIROS, H. *Evolução Verde*. **Téchne**, São Paulo, n. 182, dez. 2011. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/182/evolucao-verde-numero-de-selos-de-sustentabilidade-e-de-285933-1.aspx>>. Acesso em: 15 nov. 2016.

MENEGHETTI, A., **Consumo de Energia Elétrica**: Análise do despendido na fase de execução de obra residencial em Porto Alegre e durante um ano da edificação em uso. 2011. 73 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional 2015**. Brasília, DF, Brasil, 2016.

NG, S. T.; CHEN, Y.; WONG, J. M. W. Variability of building environmental assessment tools on evaluating carbon emissions. **Environmental Impact Assessment Review**, [S. l.], v. 38, p. 131-141, Jan. 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0195925512000625>>. Acesso em: 11 nov. 2016.

OLIVEIRA, R. D.; SOUZA, R. V. G.; MAIRINK, A. J. M.; RIZZI, M. T. G.; SILVA, R. M. **Thermal Comfort for users according to the Brazilian Housing Buildings Performance Standards**. 2015. 6th International Building Physics Conference. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215024005/pdf?md5=037be0d4ec08fef500190a4bbd280d80&pid=1-s2.0-S1876610215024005-main.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2016.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. *Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos (Guia PMBOK)*. 4 ed. Newtown Squase, USA, 2008.

RORIZ, M. **Conforto e Desempenho Térmico de Edificações**. São Carlos, SP, 2008. Apostila da disciplina – Universidade Federal de São Carlos, 2008.

SATTLER, M. A. **Dias climáticos para o projeto térmico de edificações em Porto Alegre**. Porto Alegre: CIENTEC, 1989.

WANG, W.; ZMEUREANU, R.; RIVARD, H. Applying multi-attribute genetic algorithms in green building design optimization. **Building and Environment**, [S. l.], v. 40, n. 11, p. 1512-1525, Nov. 2005. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132304003439>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

WHITEHEAD, B.; ANDREWS, D.; SHAH, A.; MAIDMENT, G. Assessing the environmental impact of data centres part 2: Building environmental assessment methods and life cycle assessment. **Building and Environment**, [S. l.], Aug. 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132314002674>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

_____. **Anexo da Portaria Inmetro N° 50/2013** Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações - RAC. Rio de Janeiro, 2013.