

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
NÍVEL MESTRADO**

ANA CLÁUDIA LEMOS RAMÃO

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO E CONSUMO DE ENERGIA DE
EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL VERTICAL QUE ATENDE AOS CRITÉRIOS DA NBR
15575:2013**

**São Leopoldo
2018**

ANA CLÁUDIA LEMOS RAMÃO

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO E CONSUMO DE ENERGIA DE
EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL VERTICAL QUE ATENDE AOS CRITERIOS DA NBR
15575:2013**

Dissertação de mestrado apresentado
como requisito para obtenção do título de
Mestre em Engenharia Civil, pelo
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil da Universidade do Vale
do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientadora: Prof.^a Dra. Andrea Parisi Kern

São Leopoldo

2018

R165a	Ramão, Ana Cláudia Lemos. Análise do desempenho térmico e consumo de energia de edificação residencial vertical que atende aos critérios da NBR 15575:2013 / por Ana Cláudia Lemos Ramão. -- São Leopoldo, 2018. 118 f. : il. color. ; 30 cm. Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, São Leopoldo, RS, 2018. Orientação: Prof^a Dr^a. Andrea Parisi Kern, Escola Politécnica. 1.Engenharia civil. 2.Edifícios – Propriedades térmicas. 3.Edifícios – Aquecimento e ventilação. 4.Energia elétrica – Consumo. 5.Edifícios – Consumo de energia. 6.Habitações – Conservação de energia. 7.Conforto humano. I.Kern, Andrea Parisi. II.Título. CDU 624 72:551.58 697
-------	---

Catalogação na publicação:
Bibliotecária Carla Maria Goulart de Moraes – CRB 10/1252

ANA CLÁUDIA LEMOS RAMÃO

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO E CONSUMO DE ENERGIA DE
EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL VERTICAL QUE ATENDE AOS CRITÉRIOS DA NBR
15575:2013**

Dissertação de mestrado apresentado
como requisito para obtenção do título de
Mestre em Engenharia Civil, pelo
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil da Universidade do Vale
do Rio dos Sinos - UNISINOS

Aprovado em 23 de agosto de 2018

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Michele Tereza Marques Carvalho – UNB- PPG Engenharia Civil

Prof. Dr. Bernardo Tutikian – UNISINOS - PPGE

Dedico este trabalho a 54% da população negra que representa este País, onde somente 12,8% dos negros, entre os 18 e 24 anos são estudantes em instituições de ensino superior (IBGE, 2015).

AGRADECIMENTOS

Um sonho realizado, um caminho longo e repleto de desafios. Tudo conquistado com muita luta, fé e determinação.

Agradeço a Deus e Nossa Senhora Desatadora dos Nós a quem me amparou em todos nos momentos de dúvida, inquietude e desamino.

Agradeço minha família e amigos (irmãos) que acompanharam essa etapa da minha vida, que vibraram com meu ingresso no mestrado, sofreram com minhas frustrações e se alegram com mais uma conquista.

Também agradeço aos meus chefes e colegas de trabalho, por muitas horas me liberem a para que conseguisse concluir as disciplinas e realizar esta pesquisa, meu muito obrigado Eng^o Ms. Carlos Keim e Eng^o Alander.

Meus agradecimentos à minha orientadora Andrea Parisi Kern, por acreditar no meu trabalho. À empresa que prestou todo apoio e informações para conclusão desta pesquisa. À equipe do itt Performance, Arq^a. Ms. Josiane Pires e Willian (bolsista).

Agradeço ao amigo e Prof. Dr. Carlos Mendes de Moraes pela atenção e incentivo durante a caminhada acadêmica e por sempre me fazer acreditar em novos desafios, minha grande admiração. Aos Prof. Dr. Bernardo Tutikian e Prof. Dr. Marco Aurélio Gonzalez pela contribuição durante a qualificação da minha pesquisa.

E um agradecimento especial aos colegas Arq^a. Ms. Camila Copello, Arq^a Júlia Stradiotto, a Gestora Ambiental Marilise Garbin e aos bolsistas de iniciação científica Vitor Boff e Ramiro Emmerich, levo vocês para a vida, obrigada por todo apoio que vocês me deram, divido esta conquista com vocês. Gratidão.

RESUMO

Em razão da complexidade de avaliar os aspectos de desempenho da edificação por meio de percepção do usuário, esta pesquisa busca analisar por meio de simulação computacional o desempenho térmico de edificação residencial vertical e a relação do consumo de energia da fase de ocupação da edificação. O objetivo deste trabalho consiste em analisar edificação residencial vertical classificada no nível superior da NBR 15.575: 2013 – Edificações habitacionais – Desempenho (NBR 15.575: 2013), certificada pelo Instituto Tecnológico em Desempenho e Construção civil – itt Performance na fase de projeto e execução, através de fatores que influenciam de consumo de energia. O estudo de caso refere-se à comparação com outra edificação construída antes do vigor da norma NBR 15.575: 2013, ambas localizadas na região metropolitana de Porto Alegre – RS. A influência dos sistemas construtivos foi analisada a partir dos requisitos e critérios da norma, sendo realizada simulação computacional por meio do software EnergyPlus. Informações sobre o consumo de energia dos apartamentos foram coletadas por meio de leituras mensais nos medidores digitais de energia de cada unidade habitacional, no período de abril a julho de 2018. Com base no resultado do consumo de energia por meio de leitura, analisando ambas as edificações e diferentes fachadas é possível afirmar que, a edificação classificada no nível superior de desempenho térmico não demonstrou consumo de energia inferior à edificação com nível mínimo de desempenho térmico, nos meses analisados e com as variáveis utilizadas, que não consideraram hábitos dos ocupantes dos apartamentos.

Palavras-chave: Desempenho. NBR 15575/2013. Desempenho Térmico. Consumo de energia.

ABSTRACT

Due to the complexity of evaluating the performance aspects of a building through the user's perception, this study aims to analyze the thermal performance of vertical residential buildings and the ratio with the energy consumption during their length of occupancy by means of computational simulation. This work aims to analyze vertical residential buildings classified as higher level ones according to the NBR 15.575: 2013 – Edificações habitacionais – Desempenho (Residential Buildings – Performance), certified by the Instituto Tecnológico em Desempenho e Construção civil – itt Performance (Performance and Civil Construction Technological Institute – itt Performance) in their project and implementation phases and to evaluate the factors that influence energy consumption. This case study compares them to another building delivered before the force of the NBR 15.575: 2013 located in the metropolitan region of Porto Alegre - RS. Information on the energy consumption of the apartments was collected through monthly readings on the digital energy meters of each housing unit, from April to July 2018. Based on the result of the energy consumption by reading, analyzing both buildings and different facades, it is possible to state that, the building classified in the upper level of thermal performance did not demonstrate energy consumption lower than the building with minimum level of thermal performance, in the months analyzed and with the variables used, that did not consider habits of the occupants of the apartments.

Key-words: Performance. NBR 15575/2013. Thermal performance. Energy Consumption.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Características e divisões da norma de desempenho.....	36
Figura 2 – Diagrama de conforto térmico humano	41
Figura 3 – Mapa de localização das edificações A e B	55
Figura 4 – Composição das paredes externas dos Lofts.	57
Figura 5 – Localização das estações meteorológicas	62
Figura 6 - Projeção dos pisos e parede de cada ambiente	66
Figura 7 – Modelagem da edificação B.....	66
Figura 8 – Identificação de uma zona térmica.....	67
Figura 9 – Inserção de dados dos materiais no programa EnergyPlus	68
Figura 10 – Inserção dos sistemas construtivos no programa EnergyPlus	69
Figura 11 – Construção dos Sistemas construtivos no Programa EnergyPlus.....	70
Figura 12 – Relatório dos erros de simulação	76
Figura 13 – Dados diários e horários de temperatura das zonas térmicas	77

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Delineamento da pesquisa	63
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição setorial de consumo de eletricidade	49
Tabela 2 – Consumo residencial de eletricidade.....	49
Tabela 3 – Resultados do nível de desempenho térmico - temperaturas internas....	75
Tabela 4 - Nível de desempenho último pavimento	78
Tabela 5 – Nível de desempenho primeiro pavimento	79
Tabela 6 – Nível de desempenho pavimento intermediário	80
Tabela 7 – Variáveis construtivas e consumos mensais das unidades habitacionais edificação A - Fachada norte.....	82
Tabela 8 – Variáveis construtivas e consumos mensais das unidades habitacionais edificação A - Fachada sul	83
Tabela 9 - Variáveis construtivas e consumos mensais das unidades habitacionais edificação B - Fachada norte.....	85
Tabela 10 - Variáveis construtivas e consumos mensais das unidades habitacionais edificação B - Fachada sul	86
Tabela 11 - Resultados da análise de regressão	94

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 – Edificação A – fachadas norte e sul	58
Fotografia 2 – Edificação B - fachadas norte e sul	61
Fotografia 3 – Tipo de medidores digital de energia	73

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Histórico de consumo final no setor residencial ano 1975 a 2014	29
Gráfico 2 – Consumo final na carga residencial Brasil e região sul.....	50
Gráfico 3 - Curva de carga diária média na região sul	51
Gráfico 4 – Consumo final na carga residencial sem chuveiro.....	52
Gráfico 5 – Relação da área construída e consumo na região sul	53
Gráfico 6 - Consumo mês fachada norte - edificação A	84
Gráfico 7 - Consumo mês fachada sul - edificação A.....	85
Gráfico 8 - Consumo mês fachada norte - edificação B	87
Gráfico 9 - Consumo mês fachada sul - edificação B.....	88
Gráfico 10 – Teste de normalidade das variáveis	91
Gráfico 11 – Relação do consumo de energia com a área das unidades habitacionais	91
Gráfico 12 - Relação do consumo de energia com o pavimento	92
Gráfico 13 - Relação do consumo de energia com o sistema construtivo	93
Gráfico 14 - Relação do consumo de energia com a orientação solar da fachada ...	94

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
CT	Capacidade térmica
ELETROBRAS	Centrais Elétricas Brasileiras S.A
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
IBGE	Instituto brasileiro de geografia e estatística
INMETRO	Instituto nacional de meteorologia
IPT	Instituto de Pesquisa Tecnológico
ISO	International Organization for Standardization
Itt	Instituto Tecnológico em Desempenho e Construção civil
performance	
LABEEE	Laboratório de Eficiência Energética das edificações
LBTEC	Laboratório de Tecnologia Construtiva na Universidade de Caxias do sul
LMCC	Laboratório de materiais de construção civil
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RTQ-R	Regulamento técnico da qualidade em residências
U	Transmitância térmica
UNISINOS	Universidade do Vale do Rio dos Sinos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	27
1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	30
1.2 OBJETIVOS	30
1.2.1 Objetivo Geral	30
1.2.2 Objetivos Específicos	30
1.3 JUSTIFICATIVA	30
1.4 ESTRUTURA DA PESQUISA	31
2 IMPACTOS AMBIENTAIS E DESEMPENHO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO	33
2.1 O DESEMPENHO DE EDIFÍCIOS E A NBR 15.575: 2013	33
2.1.1 As Partes que Compõem a Norma 15.575: 2013.....	35
2.1.2 Método de Comprovação do Desempenho Térmico	36
2.2 DESEMPENHO, CONFORTO E COMPORTAMENTO TÉRMICO	39
2.2.2 Decisões de Projeto e a Influência no Desempenho da Edificação.....	43
2.3 CONSUMO DE ENERGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO	46
2.3.1 Consumo e Demanda de Energia no Brasil	48
3 METODOLOGIA	55
3.1 DESCRIÇÃO DAS EDIFICAÇÕES ESTUDADAS E A REGIÃO	56
3.1 ETAPAS DE PESQUISA.....	63
3.1.1 Etapa 1: Características construtivas e desempenho térmico.....	64
3.1.2 Etapa 2: Consumo de energia de apartamentos das Edificações A e B ...	72
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	75
4.1 ETAPA 1: CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS E DESEMPENHO TÉRMICO	75
4.2 ETAPA 2: CONSUMO DE ENERGIA DE APARTAMENTOS DAS A E B	81
4.2.1. Dados coletados e variáveis Construtivas.....	81
4.2.1 Tratamento dos dados método estatístico	90
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	96
REFERÊNCIAS.....	98
APÊNDICE A – PESQUISA CONSUMO DE ENERGIA DA EDIFICAÇÃO	104
ANEXO A – REQUISITOS PAREDES EXTERNAS E ISOLAÇÃO TÉRMICA DA COBERTURA.....	108

ANEXO B – CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO	110
ANEXO C – REGIÕES BIOCLIMÁTICAS	111
ANEXO D - PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS	113
ANEXO E – PROJETO ARQUITETÔNICO DAS EDIFICAÇÕES	116
ANEXO F – PESQUISA DE CONSUMO DE ENERGIA DA EDIFICAÇÃO	118

1 INTRODUÇÃO

O desempenho das edificações é assunto que muito interessa usuários, projetistas, construtores e pesquisadores e vem sendo estudado no Brasil há décadas. Azevedo et al. (2016) definem desempenho de edificação como o comportamento em uso de um edifício habitacional e dos sistemas que o compõem. Trata-se de um conceito amplo que engloba dentre este o desempenho térmico.

Neste contexto, alguns autores associaram e desenvolveram suas pesquisas baseadas no conforto térmico dos espaços construídos e nas variações climáticas em diferentes regiões do país, por meio de análises das especificações técnicas dos materiais, sistemas construtivos das edificações e outras variáveis que influenciam o desempenho da edificação ao longo dos anos.

Os avanços tecnológicos a fim de atender o desempenho da edificação vêm sendo aprimorados no Brasil por meio de normas, leis, códigos de obra, ferramentas de gestão e certificações, elaboradas com intuito de promover melhoria no ambiente construído. Em vigor desde 2013, a NBR 15.575 busca garantir o desempenho das edificações por meio do atendimento das exigências do usuário, obedecendo às funções de habitabilidade (estanqueidade, conforto térmico, conforto acústico, conforto lumínico, saúde, higiene e qualidade do (segurança estrutural, segurança contra o fogo, segurança no uso e na operação) e de sustentabilidade (durabilidade, manutenibilidade, impacto ambiental). (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), 2013a).

Acredita-se que, por abordar questões da vida útil por meio das variáveis de cada sistema (estrutura, vedação, piso, cobertura e instalações), desempenho e conforto, a aplicabilidade da NBR 15575-1: 2013, conhecida como Norma de Desempenho, no Brasil, possa garantir ao usuário melhoria no ambiente construído. (ABNT, 2013a).

Tendo em vista que o atendimento da norma envolve complexidade e abrangência, e o fato de estar relativamente há pouco tempo em vigor, não foi encontrado estudos que avaliem na fase de uso uma edificação que atenda nível superior da Norma. Considerando que o atendimento dos requisitos da Norma possa gerar alterações em projeto e inclusive nos sistemas construtivos, existe expectativa que haja diferença de desempenho em edifícios que atendem à Norma de

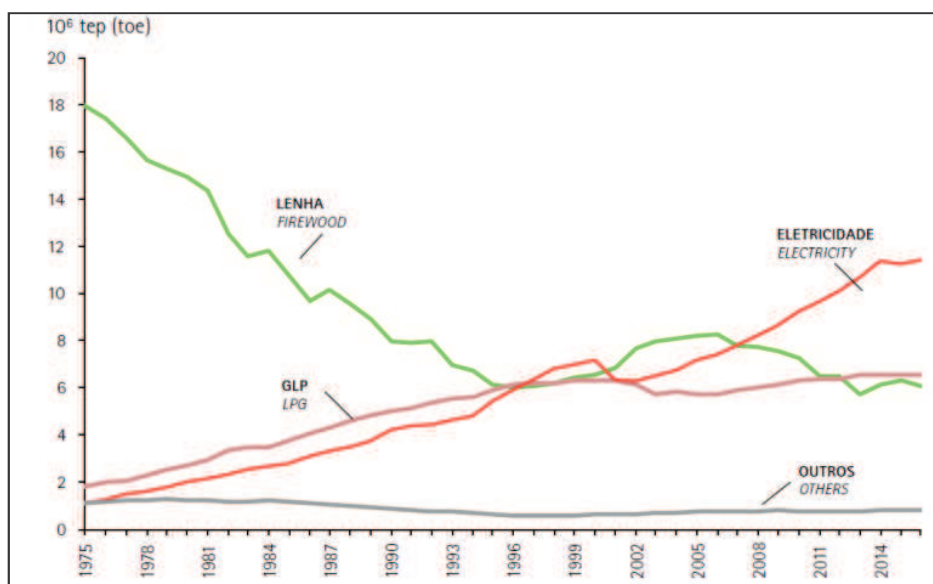
desempenho em comparação a edifícios construídos antes da Norma de desempenho entrar em vigor.

A relação entre o sistema construtivo e questões de desempenho e conforto térmico é estudada por diferentes autores. Frontczar e Wargocki (2011) e Morrissey e Horne (2011) desenvolveram pesquisas que analisam a influência do tipo de construção, características dos materiais, temperatura externa e a temperatura interna e outras variáveis que possam ser determinantes, como os fatores de construção, reformas internas, clima e sensação de conforto interno no ambiente (conforto térmico do usuário) e satisfação da qualidade do ar. Segundo Pires (2013), o conforto térmico é a satisfação de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente e depende de diversas variáveis e métodos de avaliação.

Consideram importantes para o estudo de conforto térmico três fatores principais: a satisfação do homem ou seu bem estar; performance humana, um melhor rendimento quando realizada em conforto térmico; a conservação de energia, conhecendo-se as condições e os parâmetros relativos ao conforto térmico dos ocupantes do ambiente a fim de evitar desperdícios com calefação e refrigeração, muitas vezes desnecessárias. (LAMBERTS, [2018?], p. 7).

O consumo de energia elétrica no Brasil estava em crescente acensão até 2001 onde teve uma pequena queda e a partir de 2011 o consumo de energia retomou ao crescimento comparado com as demais fontes de energia utilizadas no setor residencial ao longo dos anos, conforme (Gráfico 1). Atualmente, a energia elétrica é a mais utilizada em residências e setor residencial representa 25,6% do consumo de eletricidade no País, sendo o segundo setor com maior consumo, ficando atrás do setor industrial 37,6%. A região sul com 15,6% representa a terceira região com maior consumo residencial de eletricidade, atrás da região sudeste e nordeste, com respectivamente 48,8 % e 20,2%. (BRASIL; EPE, 2017).

Gráfico 1 – Histórico de consumo final no setor residencial ano 1975 a 2014



Fonte: Brasil; EPE (2017).

O cenário atual da construção civil é caracterizado por crescentes pressões voltadas à diminuição de impactos ambientais e à melhoria do desempenho do ambiente construído. A qualidade ambiental tem sido afetada pelo ambiente construído, sendo a construção civil responsável pela maior parte do consumo de energia e as pesquisas sobre a eficiência energética nas edificações têm foco principal na quantidade de energia necessária para o funcionamento do edifício. (MARCOS, 2009).

Neste contexto, este trabalho busca analisar uma edificação residencial vertical que atendeu à NBR 15.575:2013, nível superior, para todos os requisitos de desempenho, dentre eles o desempenho térmico abordado neste estudo, e compará-la a outra edificação mesmo padrão de classe social média-alta projetada anterior ao vigor da referida Norma, analisando o consumo de energia na fase de ocupação a fim de investigar a influência dos sistemas construtivos no consumo de energia da edificação.

1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Esta pesquisa analisa na fase de ocupação uma edificação conhecida como a primeira edificação residencial vertical que atende nível superior da NBR 15.575/2013 por meio de simulação computacional e comparar o consumo de energia desta edificação a outra que atende nível mínimo de desempenho térmico. A delimitação do trabalho consistiu em informações disponibilizadas pela empresa construtora das edificações estudadas e coleta de dados in loco já que não foi possível obter informações do usuário assim como equipamentos existentes na residência.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em analisar edificação residencial vertical classificada no nível superior (NBR 15.575: 2013) na fase de projeto e execução, avaliando desempenho térmico por meio dos sistemas construtivos e fatores que influenciam de consumo de energia.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) avaliar o desempenho térmico dos sistemas construtivos conforme NBR 15575: 2013;
- b) analisar consumo de energia em diferentes unidades habitacionais das edificações A e B;
- c) investigar variáveis que influenciam o consumo de energia das unidades habitacionais;
- d) estabelecer relações entre os desempenhos térmicos das edificações, consumos de energias e variáveis analisadas.

1.3 JUSTIFICATIVA

A NBR 15.575: 2013 – Edificações habitacionais – Desempenho estabelece requisitos e critérios de desempenho de edificação habitacional, avaliando de forma

isolada ou em conjunto os sistemas construtivos adotados e a relação das condições de conforto do usuário.

Surgem questões como: “Há significativa diferença dos sistemas construtivos das edificações antes do vigor da norma? Há relação do desempenho térmico e o consumo de energia? É significativo o consumo de energia quando a implantação de sistemas construtivos que buscam atender nível mínimo de desempenho térmico?”.

Embora existam requisitos mínimos de conforto e durabilidade, as edificações continuam não apresentando resultado satisfatório aos usuários devido ao surgimento de manifestações patológicas por falta de cumprimento de alguns critérios influenciados pela redução de custo e baixa qualidade dos materiais e métodos empregados. E referente a esses fatores o usuário não possui conhecimento necessário para avaliar uma edificação, pois seu critério de avaliação limita-se a fatores estéticos, de funcionalidade e localização, entre outros. (FREITAS; LORENZO, 2016).

Esse trabalho justifica-se pela oportunidade de analisar a primeira edificação residencial vertical classificada no nível superior para todos os sistemas construtivos, conforme NBR 15.575: 2013 Edificações Habitacional – Desempenho, na fase de projeto e execução, e ser possível avaliar o consumo de energia na fase de ocupação e comparar com outra edificação que não atendeu mesmo desempenho térmico.

1.4 ESTRUTURA DA PESQUISA

A presente dissertação está dividida em cinco capítulos. O capítulo 1 compõe a introdução ao tema, estabelece a delimitação do trabalho, que será desenvolvida, estabelece o objetivo geral e específicos, apresenta a justificativa e demonstra a estrutura da pesquisa.

O capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica, começando com os impactos ambientais do ambiente construído. Apresentando o desempenho dos edifícios e a NBR 15.575: 2013 juntamente com os métodos de avaliação de desempenho. Também são abordados assuntos referentes à relação de desempenho, conforto e comportamento térmico, assim como o consumo de energia no ambiente construído.

No capítulo 3, está descrita a metodologia da pesquisa e especifica a estratégia e ferramentas do objeto em estudo. O capítulo 4 é apresentado os resultados das análises realizadas. Primeiramente a classificação de desempenho da edificação, na

sequência análise estatística do consumo de energia e concluindo com as discussões referentes à relação de desempenho térmico e consumo de energia.

Por fim, no capítulo 5, estão descritas as considerações finais e encerrando a pesquisa com as referências bibliográficas, apêndices e anexos.

2 IMPACTOS AMBIENTAIS E DESEMPENHO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Novas exigências técnicas desafiam o setor da construção civil devido às demandas voltadas à diminuição de impactos ambientais e à melhoria do desempenho do ambiente construído, muito presentes no cenário atual. (KERN; SILVA; KAZMIERCZAK, 2014). Assim, a avaliação ambiental resultante das atividades de construção civil tem sido pauta frequente de discussão nas últimas décadas, tendo em vista os significativos impactos ambientais decorrentes da construção e uso do ambiente construído. O conceito de desempenho, por outro lado, envolve a satisfação de necessidades humanas (de caráter fisiológico, psicológico, sociológico e econômico, relativas à segurança, conforto e funcionalidade), ao longo de vida útil dos edifícios. (HOPFE, 2009).

A construção civil é uma das atividades que representa maior impacto sobre o meio ambiente. Por esse motivo é importante estabelecer metas, por meio de procedimentos, práticas e processos para desenvolver projetos que minimizem estes impactos. As etapas de uso e manutenção da edificação são as que representam o maior impacto. Constata-se que com o consumo de energia e os gastos com as edificações ocorrem principalmente nesta fase. Apesar dos maiores impactos ocorrerem nas fases de operação e manutenção, a maior possibilidade de intervenção no desempenho durante essas fases pode ser por meio da concepção e projeto. (MOTTA; AGUILAR, 2009).

Há uma relação estabelecida entre do desempenho das edificações e impacto ambiental em diferentes dimensões, seja ela referente à durabilidade da edificação, isto é a redução de reparos e demolições, ou devido a melhorias na habitabilidade e condições de conforto. (KERN; SILVA; KAZMIERCZAK, 2014).

2.1 O DESEMPENHO DE EDIFÍCIOS E A NBR 15.575: 2013

Embora os requisitos de norma sejam atendidos, nem todos os ocupantes do edifício estão satisfeitos com o ambiente interno. Além disso, alguns fatores como, características individuais (sexo, idade, país de origem, etc.), fatores relacionados com o edifício (interior da habitação, tipo de edifício e controle do ambiente interior) e clima externo podem levar a diferentes respostas subjetivas. Um dos principais

motivos são os hábitos e costumes de diferentes pessoas, portanto, nem todos estão satisfeitos com as mesmas condições. (FRONTCZAK; WARGOCKI, 2011).

Embora a sensação térmica seja diferente para cada usuário, a conclusão do estudo apontou a satisfação do usuário, mas observa-se a influência dos sistemas de controle do ambiente térmico, devido à decoração do ambiente e iluminação não ter efeito significativo na percepção do conforto térmico. (FRONTCZAK; WARGOCKI, 2011).

No Brasil, o desempenho das construções, embora tenha sido abordado em diferentes normas anteriores, passou a ser regulamentado pela NBR 15.575: 2013 – Edificações Habitacionais – Desempenho que estabelece requisitos e critérios de desempenho para edificações habitacionais, avaliando de forma isolada ou em conjunto, os sistemas construtivos adotados e a relação das condições de conforto do usuário. Criada em 2003, essa norma passou por muitas revisões e consulta pública, somente entrou em vigor em 2013, não fazendo parte do escopo obras concluídas, em andamento, reformas, edificações provisórias e projetos protocolados antes de 2013. Essa norma tem como objetivo maior garantir uma melhoria no ambiente construído, com foco no segmento residencial. (ABNT, 2013a).

Com o propósito de atender às exigências dos usuários, a norma refere-se aos sistemas que compõem edificações habitacionais, quanto às características físicas e mecânicas dos elementos construtivos (abordagem prescritiva por ensaios de laboratório), assim como seu comportamento em uso, isto é, o conjunto de sistemas construídos (abordagem por simulação). A forma de estabelecimento do desempenho é comum e internacionalmente pensada por meio da definição de requisitos (qualitativos), critérios (quantitativos ou premissas) e métodos de avaliação. (ABNT, 2013a).

Segundo a NBR 15575: 2013 desempenho é definido como um conjunto de requisitos e critérios estabelecidos para uma edificação habitacional e seus sistemas, com base em exigências do usuário, isto é, o conjunto de necessidades do usuário da edificação habitacional a serem satisfeitas, de modo a cumprir com suas funções que contemplam o comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas. (ABNT, 2013a).

Santo et al. (2016) salientam que, no caso do desempenho térmico, os requisitos do usuário referem-se ao conforto térmico, e os critérios de avaliação não permitem avaliar este requisito, pois a NBR 15575-1 não aborda ou recomenda

indicadores de conforto térmico. Também não aborda questões de projeto quando na fase de uso e operação quanto ao desempenho térmico, isto é, quando o ambiente habitado e consequentemente equipamentos em uso produz calor e tem influência no conforto térmico do usuário.

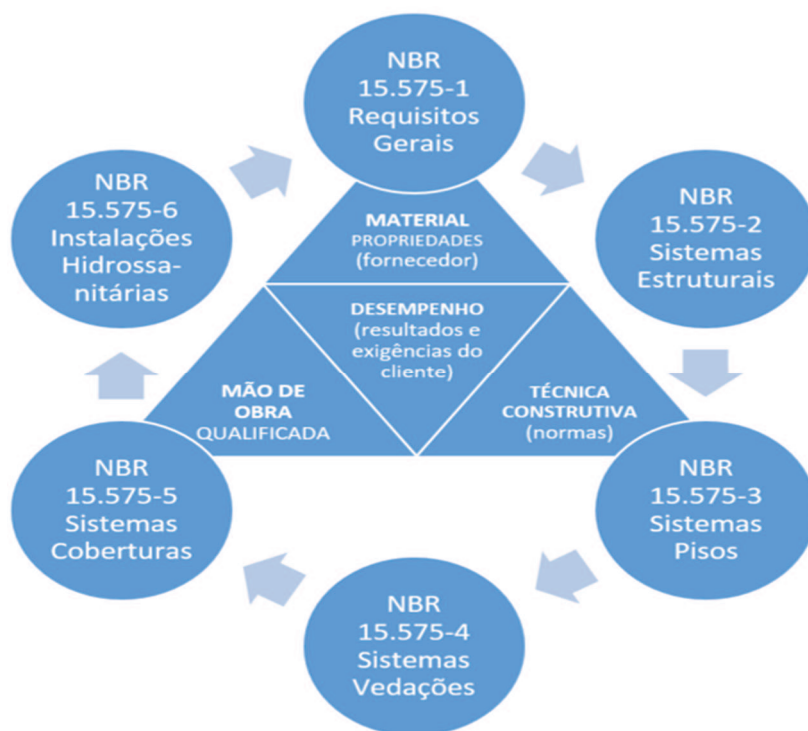
Esta pesquisa que resultou na inadequabilidade dos parâmetros adotados pela NBR 15575-1, devido à incoerência entre os valores dos níveis de desempenho térmico e o referencial de conforto do usuário, avaliado pelo método estatístico para conforto térmico e visual que mensura condições de conforto/desconforto no interior dos ambientes. (SANTO et al., 2016).

Segundo Okamoto e Melhado (2014) há dificuldades de assimilar uma norma que não indica de que forma torna-se possível atingir o resultado esperado, mas apenas apresenta apenas parâmetros de comportamento para os produtos finais.

2.1.1 As Partes que Compõem a Norma 15.575: 2013

A Norma é dividida em seis partes e estabelece requisitos mínimos de desempenho, vida útil e garantia para os diversos sistemas que compõem as edificações unifamiliares e multifamiliares. A Figura 1 apresenta as seis partes da NBR 15.575:2013 e os sistemas que nela são abordados. (SOUZA, 2016).

Figura 1 - Características e divisões da norma de desempenho



Fonte: Souza (2016, f.20).

As análises de desempenho térmico são estudadas nas partes da norma referentes aos requisitos gerais, que são os procedimentos de avaliação dos sistemas construtivos onde estão apresentados os requisitos, métodos e critérios de avaliação. Também nos sistemas de vedações que estabelecem os critérios mínimos para as propriedades dos materiais, tais como transmitâncias e capacidade térmica das paredes, critérios de área mínima das aberturas para ventilação e por fim o sistema de cobertura, analisando a transmitância térmica e absorvância à radiação solar apropriada para cada zona bioclimática. (ABNT, 2005a).

2.1.2 Método de Comprovação do Desempenho Térmico

A avaliação do desempenho é realizada a partir de métodos capazes de produzir uma interpretação objetiva sobre o comportamento esperado do sistema avaliado nas condições de uso definidas. Os métodos de avaliação consideram a realização de ensaios laboratoriais, ensaios em campo, inspeções em protótipos ou em campo, simulações e análise de projetos. A norma possibilita a utilização de normas internacionais, quando na ausência de normas brasileiras prescritivas para

um produto ou um procedimento específico, com base na consagração do uso ao longo do tempo. (ABNT, 2013a).

A comprovação do atendimento do desempenho térmico, foco deste trabalho, estabelecido pela NBR 15575:2013 (ABNT, 2013a) aos diferentes sistemas deve seguir os seguintes procedimentos:

- a) procedimento simplificado (normativo): atendimento aos requisitos e critérios para os sistemas de vedação por meio da avaliação de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) e sistema de cobertura avaliando a transmitância térmica (U) e absorptância de radiação solar, caso estes critérios resultem em desempenho térmico insatisfatório, deverá ser avaliado pelo método da simulação computacional;
- b) procedimento de medição (informativo): verifica o atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos na ABNT NBR 15575-1: Requisitos gerais, por meio de medições em edificações ou protótipos construídos. Segundo a Norma este método não se sobrepõe aos procedimentos descritos no procedimento simplificado.

O método simplificado, chamado de método prescritivo, adota os valores máximos admissíveis para transmitância térmica das paredes externas e os critérios mínimos admissíveis para capacidade térmica das paredes externas, como também ocorre para valores máximos admissíveis de transmitância térmica das coberturas (Anexo A). Estas características dos materiais podem ser obtidas por método de cálculo conforme procedimento descrito na NBR 15220-2: 2005 ou por informações fornecidas pelo fabricante por meio de laudos e ensaios. (ABNT, 2005).

Os requisitos de abertura (áreas mínimas) para ventilação são importantes para circulação de ar e ventilação interna dos ambientes de longa permanência no local e estão presentes na legislação local e códigos de obra (Anexo A).

O método de simulação computacional é realizado por meio do software EnergyPlus, que permite a determinação do comportamento térmico de edificações, deve ser considerada na habitação cada ambiente como uma zona térmica. (ABNT, 2013a).

A avaliação de desempenho térmico que aplica o método de simulação computacional estabelece requisitos e critérios sob condições dinâmicas de exposição

ao clima, sendo capazes de reproduzir os efeitos de inércia térmica e sejam validados pela ASHRAE Standard 140. A simulação realiza por meio das propriedades dos materiais e o conjunto do sistema construtivo, a inércia térmica computada e as temperaturas diárias e anuais no período de 10 anos para cada zona térmica, propõe métodos de avaliação e são comparados aos critérios do desempenho térmico mínimo em relação à diferença de temperatura. (ABNT, 2013a).

Os critérios adotados para classificação da edificação ou zona térmica, referente ao desempenho térmico são estabelecidos na NBR15575-1, para que sejam classificado nível de desempenho mínimo, intermediário ou superior. Esta avaliação é realizada após obter dados de temperatura das zonas térmicas e compara-la com a temperatura do dia típico da região. A norma dispõe as temperaturas médias máximas e mínimas para as oito zonas bioclimáticas nos períodos de inverno e verão (Anexo B). Segundo Pires (2013) o programa EnergyPlus é a ferramenta para análise térmica e energética validada pela Norma. Permite a modelagem das variações de ocupação, uso e potência de iluminação e equipamentos, ventilação natural e sistemas de condicionamento artificial e tem como objetivo testar as diferentes possibilidades de projeto e compara-las para encontrar a melhor solução.

A partir da publicação da primeira versão da norma de desempenho das edificações habitacionais, diferentes focos de pesquisas foram desenvolvidos com objetivo de avaliar a sua adequabilidade para diferentes tipos de materiais e composições climáticas (FREITAS; LORENZO, 2016). Dentre as críticas realizadas, Sorgato et al. (2012) apontam não ser avaliada a influência de variação anual de temperatura. Projetos de arquitetura comprometidos com as questões ambientais e energéticas devem encontrar um equilíbrio entre conforto, custo e impacto ambiental. (MORRISSEY; HORNE, 2011).

Segundo Pires (2013) a ferramenta EnergyPlus é utilizada para definir a carga térmica, determina consumo energético e as condições de conforto de cada zona e avaliando a influência de diferentes parâmetros construtivos. Em casos de edificação vertical, a simulação é feita por pavimentos. Cada ambiente de uma unidade habitacional é denominada de zona térmica e é modelada. A modelagem é realizada a partir do SketchUp, software próprio para a criação de modelos em 3D, nesta ferramenta são moldados os sistemas de piso, parede, teto e cobertura, assim como as aberturas(porta e janelas). Todas estas informações são consideradas para que o

ambiente seja o protótipo da edificação construída e assim poder analisar as condições de temperatura do ambiente.

2.2 DESEMPENHO, CONFORTO E COMPORTAMENTO TÉRMICO

A norma de desempenho é bastante abrangente e complexa na sua aplicação, tendo em vista novas exigências aos diferentes agentes do setor da construção (KERN; SILVA et al., 2014). A habitabilidade consiste numa das exigências do usuário abrangida pela norma, sendo o desempenho térmico dos ambientes, foco de investigação no presente trabalho.

Anterior à norma de Edificações habitacionais - Desempenho em 2013, a abordagem referente ao desempenho térmico iniciou no Brasil, através da norma em vigor a NBR 15.220: 2005, avaliando o desempenho térmico dos componentes construtivos. (ABNT, 2013a).

O desempenho térmico de uma edificação é definido como o comportamento térmico mínimo esperado como resposta ao clima externo e condições de uso dos ambientes, visando melhores condições de conforto térmico interior. (MATTOS, 2015). Segundo a NBR 15.220-3: 2005 consiste no conjunto de características que atendem às exigências de conforto térmico dos usuários, considerando a região de implantação do projeto e as características bioclimáticas definidas pela norma. (ABNT, 2005b).

Define-se conforto térmico como o estado mental que expressa a satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda (LAMBERTS et al., 2005) ou ainda, conforto térmico é entendido pela conformidade dos ambientes internos a um conjunto de requisitos, isto é, a satisfação psicofisiológica do usuário quanto às condições térmicas nos ambientes internos da edificação. (ABNT, 2005; PIRES, 2013).

Os ambientes precisam atingir condições de conforto para a atividade que pretendem abrigar, sendo que a baixa eficiência energética das edificações é agravada devido ao uso desnecessário da climatização artificial para atingir uma condição confortável. Uma boa forma de melhorar o desempenho de uma edificação é através do invólucro e seu isolamento térmico correto conforme o clima estudado. Quanto mais isolado o invólucro, uma quantidade maior de materiais será utilizada e, conseqüentemente, mais energia será incorporada à edificação, porém menor será transmitância térmica. O valor de transmitância térmica das superfícies que compõem o invólucro é

importante para manter a edificação na faixa de conforto térmico com a menor quantidade possível de energia para climatização dos ambientes. (GRAF, 2011).

Frontezark e Wargocki (2011) pesquisaram a influência do ambiente interno em edifícios no conforto humano. Através de literatura foram analisados fatores como características individuais de ocupantes de edifícios, fatores relacionados com edifícios e clima exterior, incluindo reformas que influenciam o ambiente interno e podem determinar quão confortáveis ou não o ambiente. Os resultados sugerem que, ao desenvolver sistemas para controlar o ambiente interno é proporcionado aos ocupantes a possibilidade de controlar o ambiente interno. Assim, há melhoria no conforto térmico e visual, bem como a satisfação da qualidade do ar, visto que o conforto térmico é classificado pelos ocupantes do edifício como sendo de maior importância em comparação com conforto visual e acústico e boa qualidade do ar.

Apesar do conhecimento de diversas variáveis que influenciam no conforto térmico determinando uma zona de conforto, além da temperatura do ar do ambiente, em termos práticos, uma faixa de conforto térmico – temperaturas – precisa ser estabelecida previamente a qualquer estudo que envolva desempenho térmico ou energético, sendo este último influenciado pela climatização, mesmo que de forma complementar, dos ambientes (aquecimento ou resfriamento necessário para atingir uma dada temperatura). (GRAF, 2011).

A partir das pesquisas realizadas, e visando obter uma faixa de conforto térmico ao invés de zona de conforto térmico, optou-se pela equação apresentada por Nicol e Humphreys. A temperatura externa – T_e - é calculada a partir da média mensal da temperatura externa diária máxima e a média mensal da temperatura externa diária mínima, pela equação $T_c = 13,5 + 0,54T_e$, e resulta em uma faixa de conforto térmico que oscila ao longo do ano. (GRAF, 2011).

A norma avalia o critério de desempenho térmico sem a análise dos aspectos de ocupação e ganhos térmicos que são aspectos relacionados ao conforto do usuário, salientando que a presença de ocupantes e ganhos de térmico devido ao uso de equipamentos e iluminação artificial interfere no desempenho térmico do ambiente. Partindo do pressuposto que ao ocorrer uma mudança que gere desconforto, os usuários reagem de maneira que tendem a restaurar o seu conforto. Santo et al. (2016) concluem em sua pesquisa que quando o ambiente desocupado atende o nível mínimo de desempenho para o verão e quando este está ocupado, utilizando a

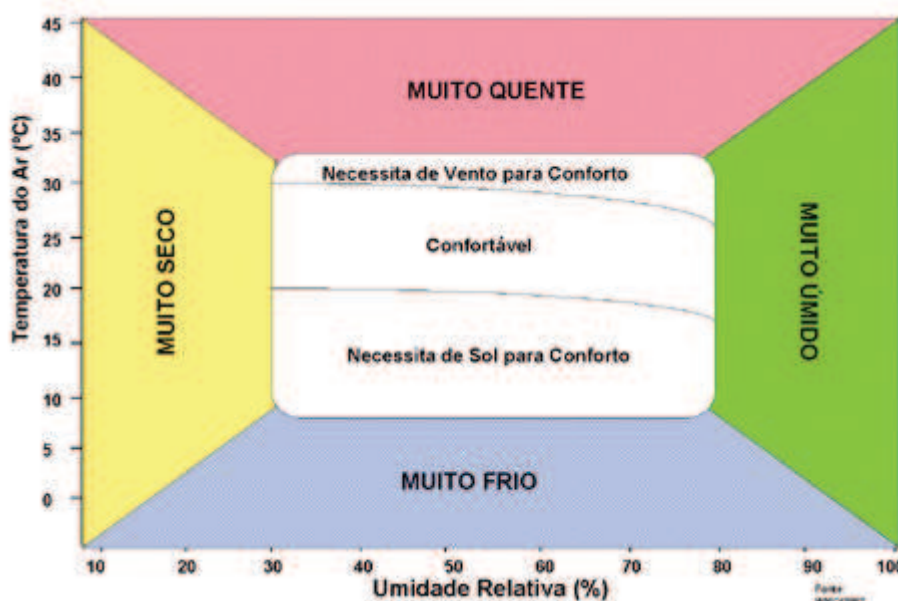
iluminação artificial, o nível de desempenho ficou abaixo do mínimo. Demonstrando a interferência das ações realizadas pelo usuário no desempenho da edificação.

Frontczak e Wargocki (2011) citam as condições térmicas baseadas na troca de calor entre o corpo humano e o meio, sendo os requisitos de conforto térmico atendido quando não há sensação de desconforto do usuário. Em contraponto, segundo Lamberts et al. (2005), quando o balanço térmico não é estável, ou seja, quando há diferença entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente pode levar à insatisfação causada pela sensação de desconforto por calor ou frio.

Os fatores do clima definem e fornecem informações, sendo estes a temperatura, umidade, precipitações e movimento do ar que aliadas aos sistemas construtivos da edificação determinam o desempenho térmico. As variáveis como, tipo de material e cor, uso ou não de isolante térmico, orientação solar, dimensões das áreas e tipo de esquadrias, carga térmica interna, uso ou não de estratégias bioclimáticas, podem influenciar o desempenho da edificação, e por consequência o conforto térmico aos usuários. (SCHIFFER, 2001).

Conforme Lamberts et al. (2010), o comportamento térmico é influenciado por fatores externos, internos e comportamento do usuário. Variáveis como, ventilação, insolação, temperatura, umidade, refletem no comportamento térmico da edificação, onde perdas e ganhos de calor ocorrem e a renovação de ar é necessária através de ventilação natural ou artificial. O diagrama (Figura 2) demonstra a relação destas variáveis no conforto térmico humano e observa-se que o conforto térmico humano está na faixa de temperatura de 20 a 30°C e umidade relativa do ar de 30 a 80%.

Figura 2 – Diagrama de conforto térmico humano



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) ([2018a]).

A avaliação do desempenho térmico de uma edificação por meio da NBR 15220:2005 aborda as diretrizes do zoneamento bioclimático brasileiro que estabelece as estratégias de condicionamento térmico passivo, aberturas (ventilação e sombreamento) e propriedades térmicas dos materiais. Em conjunto a NBR 15575 - Edificações habitacionais – Desempenho, constitui-se na avaliação do desempenho térmico da edificação em relação aos requisitos de conforto térmico dos usuários e condições climáticas as quais a edificação está. (LAMBERTS et al., 2010).

A edificação habitacional deve reunir características que atendam às exigências de desempenho térmico, considerando-se a zona bioclimática definida na NBR 15220-3. “As diretrizes construtivas estabelecidas pela NBR 15220:2005 propõem a relação dos vãos de abertura e área construída, proteção das aberturas, vedações externas (envoltória da edificação) e estratégias de conforto térmico passivo.” As zonas bioclimáticas 1, 2, 3 representam clima subtropical, onde estão localizados os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, parte do Paraná e São Paulo”. (PIRES, 2013).

Mediante o mapa das regiões bioclimáticas (Anexo C) é possível visualizar as cidades e sua respectiva zona bioclimática como também estão informados na NBR 15220:2005 os dados climáticos para dias típicos de verão e inverno, podendo assim analisar por meio de medição *in loco* ou simulação. As informações dos dados climáticos da cidade em estudo são inseridas na base de dados do programa

EnergyPlus a fim de calcular as condições da edificação no que se refere ao desempenho térmico. As diretrizes construtivas são identificadas através da carta bioclimática (Anexo C), e a partir delas são estabelecidas as estratégias de condicionamento térmico passivo para zona bioclimática.

Segundo o Laboratório de Eficiência Energética das Edificações (LABEEE), por meio da simulação computacional utilizam-se arquivos climáticos que permitem identificar os períodos de maior probabilidade de conforto ao usuário, e consequentemente, definir as estratégias construtivas na edificação a fim de melhorar as condições de conforto. A ineficácia dos dados de um arquivo climático reproduz erros nos resultados das simulações. (LABEEE, 2015).

2.2.2 Decisões de Projeto e a Influência no Desempenho da Edificação

Um dos primeiros trabalhos a abordar dados de campo de desempenho térmico de habitações de interesse social encontrados no Brasil foi de Barbosa em 1997 (MARQUES, 2008). Primeiramente, seu objetivo foi o desenvolvimento de uma metodologia mais efetiva para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações unifamiliares, somada a uma análise *in situ* do conforto térmico de usuários, definindo o máximo de horas de desconforto em uma edificação (MARQUES, 2008).

A fim de aperfeiçoar o método de Barbosa (1997), outros autores compararam resultados de simulação e monitoramento, como Sakamoto et al. (2001) apud Marques (2008). O estudo considerou o zoneamento climático e os cálculos de transmitância térmica, atraso térmico, o fator de ganho de calor solar de elementos opacos e a razão de proporção de ventilação entre aberturas e a área de piso; critérios estes da NBR 15.220-3: 2005 (ABNT, 2005c) que, na época, era ainda uma proposta de norma.

Na busca de avaliar as condições atuais das horas anuais em desconforto térmico para o calor e frio nos condomínios multifamiliares, Cechinel; Hackenberg e Tondo (2016) avaliaram alternativas de melhoria para o desempenho térmico, por meio das escolhas e decisões construtivas adotadas segundo as condições climáticas, buscando reduzir a temperatura dos ambientes da habitação e aumentar as horas anuais em conforto térmico. No entanto, os parâmetros mínimos do programa habitacional de interesse social não foram atendidos, gerando edificações quentes

em dias de verão, avaliadas mediante ao método de simulação com programa EnergyPlus e parâmetros do diagrama psicrométrico estabelecido por Giovani em 1992. As edificações em estudo foram consideradas quanto suas características construtivas, clima e ocupação dos ambientes. Os resultados apresentaram aumento das horas de desconforto para o calor, devido à ausência de ventilação, ao ganho térmico por meio da insolação que entra pelas vedações e das cargas oriundas de equipamentos, iluminação e ocupação de pessoas. Para desconforto para frio, os resultados foram pouco expressivos devido à atuação dos brises e da ventilação, por meio dos quais se reduzem a insolação e aumentam as trocas de ar. Devem ser considerados, porém, os benefícios para análise anual de temperatura.

Rodriguez-Ubinasa et al. (2014) consideram importante incluir alguns elementos prescritivos relacionados às características ópticas e termofísicas do envelope do prédio. A substituição do uso de materiais nos ambientes, analisando a orientação solar, tipo e espessura de vidro adequado, ajuda a aumentar o número de horas dentro da faixa de conforto térmico, reduzindo os picos térmicos, alisando o balanço diário de temperatura.

A influência do envelope no desempenho de casas determinou os valores de transmitância térmica (U) onde foram comparados com os resultados de conforto térmico das casas. As casas estudadas apresentaram transmitância térmica mais baixa, consequentemente, baixas perdas de calor durante as noites, podendo concluir que o envelope de baixo valor de transmitância térmica (U) contribui para o sucesso do conforto térmico das casas. (RODRIGUEZ-UBINASA et al., 2014).

Com o objetivo de avaliar o desempenho térmico nos casos de envelopes construtivos distintos entre si, isto é, os componentes construtivos, por meio do monitoramento das temperaturas externas e internas, Marques (2008) classificou o desempenho térmico, avaliou estudos das análises bioclimáticas e de graus-hora a fim de verificar a coerência de resposta quanto à adoção da norma NBR 15.575: 2013. O cruzamento das diferentes formas de análise de desempenho térmico mostrou certa coerência entre os métodos, necessitando de análises mais completas em relação à sensação de conforto térmico, como a presença da umidade relativa do ar.

Segundo Rodriguez-Ubinasa et al. (2014), para o sistema de aquecimento e resfriamento durante as mudanças de temperatura os resultados foram significativos para o superaquecimento, sendo necessário diminuir a temperatura do sistema de piso e aumentar a ventilação para proporcionar um melhor ambiente térmico interno,

porém ocasionando um aumento no consumo de energia. “O ambiente térmico interno e o desempenho energético da casa podem ser melhorados com menor área de vidro, aumento da massa térmica, instalação de sombreamento solar, ajuste da orientação da casa e ventilação natural”. (RODRIGUEZ-UBINASA et al., 2014, p. 20).

Brito (2015) sugere o uso de paredes com maior capacidade térmica, menor área de piso, maior área na fachada em relação ao volume do ambiente, o uso de cores claras nas fachadas e dispositivo de sobreamento em aberturas a fim de contribuir para redução no sistema de climatização.

O conforto térmico associado ao bem-estar e à sensação de satisfação do usuário foram pesquisados por Conceição e Leite (2016) com objetivo analisar duas edificações recentemente construídas, antes de entrar em vigor a NBR 15.575: 2013. A pesquisa relaciona o desempenho térmico baseado na norma e avalia a transmitância térmica e absorptância à radiação solar, comparando-as com os valores recomendados pelas normas NBR 15575:2013 e NBR 15220: 2005. Por meio do método simplificado, os sistemas de vedação e cobertura foram medidos *in loco*. De acordo com os parâmetros exigidos pela ABNT NBR 15575-4 e 15575-5 em relação à vedação vertical e à cobertura quanto ao desempenho térmico, a edificação que investiu em materiais de isolante térmico como poliuretano, isopor, gesso e bloco sical, garantiu o mínimo de conforto térmico aos seus usuários sem o acionamento de ar condicionado. Uma dificuldade encontrada foi a informação dos valores da transmitância térmica para outros materiais empregados que não constam na norma, sendo assim utilizado catálogo do INMETRO.

Segundo Rocha et al. (2016), o desempenho térmico das edificações está relacionado às características das vedações verticais externas. Em sua pesquisa são comparados dois sistemas de vedação, sendo um deles uma proposta alternativa de possível execução no sistema de vedação, mas pouco aplicado no mercado brasileiro (fachada com painéis leves), e um sistema de alvenarias e revestimentos aderidos, para uma edificação habitacional de múltiplos pavimentos. Os resultados obtidos nas simulações apresentaram as fachadas com painel no período de inverno melhor desempenho, enquanto as fachadas em alvenaria de blocos e revestimentos, desempenho térmico superior no verão.

Por meio dos critérios de projeto e conforto do usuário, Lamberts (2004) avalia a relação de consumo de energia com uso de equipamentos e sistemas construtivos adotados. Observa na sua pesquisa a avaliação do uso racional a fim de reduzir o

consumo para iluminação, condicionamento de ar e aquecimento de água. O autor considera como sendo esse o primeiro passo para identificar onde a maior parte de energia está sendo gasta.

2.3 CONSUMO DE ENERGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

O desempenho térmico dos elementos de uma edificação está associado diretamente com as suas variáveis climáticas externas. Assim, o conhecimento das condições climáticas influenciam a tomada de decisões quanto aos requisitos básicos para o projeto de sistemas de condicionamento de ar, cálculos simplificados do consumo de energia e para as simulações termo energéticas de edificações. (SCHELLER et al. 2015)

A avaliação ambiental resultante das atividades de construção civil tem sido pauta frequente de discussão nas últimas décadas, tendo em vista os significativos impactos ambientais decorrentes da construção e uso do ambiente construído. Dentre os impactos amplamente abordados está o alto consumo de energia durante a fase de uso de edificações, que possui estreita relação com os conceitos de desempenho térmico das edificações e conforto térmico dos usuários. Dar condições satisfatórias de conforto ambiental ao usuário é um caminho para que ele não utilize meios ativos que ocasionam consumo de energia, com influência direta no desempenho energético de uma edificação. (ALMEIDA; REGINALDO; SILVA, 2016).

Loureiro (2003) conclui que há necessidade da adequação da arquitetura ao local à realidade das condições climáticas da região. Em seu estudo, estes aspectos foram analisados a fim de avaliar o desempenho térmico e o consumo de energia que possam ser considerados a partir dos hábitos, da renda familiar e do consumo consciente, sendo estes componentes uma relação direta com o usuário. Este trabalho analisou diferentes edificações residenciais unifamiliar, sendo uma multifamiliar com 12 pavimentos.

No estudo de desempenho térmico, Loureiro (2003) verificou também as características dos sistemas construtivos, a orientação solar, a disposição das aberturas (ventilação cruzada e iluminação natural) e as aquisições de equipamentos de ventilação artificial, a fim de avaliar as questões de conforto térmico e consumo de energia utilizando como base carta bioclimática, dados do LABEEE e variáveis climáticas como temperatura de ar e umidade relativa.

Os resultados apresentaram que a percepção de conforto do usuários não era satisfatória a percepção de conforto do usuários, necessitando uso de ventilação artificial. Fatores que distinguem ambas residências estudadas foram a troca de calor devido à resistência térmica das paredes e o isolamento da cobertura, questionando se as estratégias adotadas atendem aos requisitos do usuário na fase pós-ocupação da edificação. (LOUREIRO, 2003).

Com o intuito de avaliação da tipologia de edificações e do consumo de energia elétrica, Hansen (2000) analisa edificações na mesma região a fim de criar um cenário padrão. Os resultados mostram a relação da tipologia e renda familiar; tipologia e consumo de energia. A relação da renda familiar e área edificada, resulta no maior consumo, principalmente para conforto térmico e sendo assim, quanto maior a área, maior a área a ser condicionada, conseqüentemente maior consumo. Os usos finais de energia estão concentrados nos sistemas de aquecimento de água, iluminação e refrigerador onde apresentam maior consumo.

De acordo com Ceotto (2006), 80% dos custos relativos à vida útil de uma edificação estão na fase de sua operação. A energia consumida pela edificação é um dos custos predominantes. Brasileiro; Morgado e Almeida et al. (2016) sinalizam a importância das soluções projetuais/construtivas adotadas desde a sua concepção, a fim de possibilitar construção de edificações com menor demanda de energia na fase de uso.

Thormark (2002) afirma que a energia necessária para a operação de uma edificação poder ser reduzida aumentando a eficiência do envelope da edificação e utilizando outras estratégias passivas de construção. Assim, técnicas passivas de climatização de ambientes que consideram a inércia térmica, por exemplo, podem contribuir para a redução do uso de sistemas de climatização artificiais e por consequência o consumo de energia elétrica, sem onerar em demasiado a energia incorporada do edifício.

O levantamento realizado na pesquisa elaborada no Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE) envolveu análise do consumo de energia de 5625 residências no ano de 2005, correspondente a 85% das residências estudadas no país. Observou-se que o consumo médio de energia elétrica nas residências brasileiras foi de 152,2 kWh/mês, com variações no país. A região Sul apresentou o maior consumo residencial, dentre as regiões geográficas brasileiras, atingindo o valor de 273,1 kWh/mês no verão e 261,3 kWh/mês no inverno. O menor consumo foi a

região Norte com 96,5 kWh/mês no verão e 81,0 kWh/mês no inverno. Analisado o consumo dos equipamentos eletrodomésticos (verão e inverno), o ar condicionado representou 9% do consumo total de uma residência em regiões de temperaturas mais baixas, e em zonas mais quentes 5%. O chuveiro elétrico apresentou percentuais elevados em algumas zonas bioclimáticas, exemplo: zona 1, com consumo de 37% no verão e 45% no inverno. Demais equipamentos como refrigerador e freezer resultaram num consumo de 31%. A importância dos diferentes climas e zonas bioclimáticas nas regiões brasileiras tem influência no consumo de energia elétrica do setor residencial. (FEDRIGO et al., 2009).

Outro método de avaliação que surge em paralelo a NBR 15575, o Regulamento técnico da qualidade em residências (RTQ-R), criado em 2010 e revisado em 2012, que classifica o nível de eficiência energética em edificações residenciais uni e multifamiliares. O regulamento apresenta requisitos técnicos e métodos para a obtenção do nível de eficiência energética do edifício, o qual pode variar de A (mais eficiente) a E (menos eficiente). (CHVATAL; RORIZ, 2012).

Afim de apresentar os impactos decorrentes do regulamento para edificações residenciais no consumo de energia elétrica, Morishita (2011) apresenta um cenário para ano de 2030 do consumo no setor residencial chegando a 26%, mas salienta que ao atender os parâmetros construtivos de acordo com a zona bioclimática, pode haver casos onde o regulamento para a edificação atenda envoltória nível A e que não atende às exigências da norma de desempenho, assim como o contrário, pois a norma estabelece estratégias para o desempenho mínimo da edificação.

Segundo Rodriguez-Ubinasa et al. (2014) há necessidade de analisar o consumo de energia das residências por meio de medidores por equipamento, permitindo saber quanto energia é usado para as casas em tempo real. Os autores concluem que existe um potencial significativo para a redução do consumo de energia no setor de construção com as estratégias de projeto passivo e sua influência no desempenho das construções, utilizando, por exemplo, o envelope de construção, orientação, aspectos geométricos entre outros.

2.3.1 Consumo e Demanda de Energia no Brasil

Alguns autores concluem que o projeto de arquitetura é responsável por 40 a 60% do consumo residencial, mas tende a crescer com o desempenho térmico

precário das edificações e o aumento do poder aquisitivo, neste caso referindo-se à iluminação, aquecimento de água e ar condicionado. (LAMBERT et al. 1996 apud HANSEN, 2000).

Este aumento no consumo contribuiu para a crise de 2001, ano no qual foi realizado um período de racionamento de energia no Brasil, sendo o setor residencial o que promoveu economias mais significativas, mas ao longo dos anos o consumo de eletricidade continua em ascensão, conforme Tabela 1, demonstrando os setores energéticos no país e o consumo final no período de 2007 a 2016. (EPE, 2017). A região sul representa a 3º lugar no consumo de eletricidade no setor residencial (Tabela 2). Diante deste fato busca-se o uso racional da energia, das quais ressaltar-se a Lei 10.295 de 2001, que dispõe sobre a conservação e o uso racional de energia. (BRASIL; EPE, (2017)).

Tabela 1 - Composição setorial de consumo de eletricidade

SETORES	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	%
SECTORS											
CONSUMO FINAL (10 ⁹ tep)	35.443	36.829	36.638	39.964	41.363	42.861	44.373	46.005	45.096	44.705	FINAL CONSUMPTION (10 ⁹ toe)
SETOR ENERGÉTICO	4,2	4,3	4,3	5,8	5,0	5,3	5,8	5,8	6,1	5,7	ENERGY SECTOR
RESIDENCIAL	22,1	22,3	23,6	23,1	23,3	23,6	24,2	24,7	25,0	25,6	RESIDENTIAL
COMERCIAL	14,2	14,6	15,5	15,0	15,4	16,0	16,4	16,9	17,4	17,2	COMMERCIAL
PÚBLICO	8,2	8,1	8,3	8,0	7,9	8,0	8,0	8,5	8,3	8,3	PUBLIC
AGROPECUÁRIO	4,3	4,3	4,2	4,1	4,5	4,7	4,6	5,0	5,1	5,3	AGRICULTURE AND LIVESTOCK
TRANSPORTES	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	TRANSPORTATION
INDUSTRIAL	46,7	46,1	43,8	43,8	43,5	42,1	40,7	38,7	37,7	37,6	INDUSTRIAL
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	TOTAL

Fonte: Brasil e EPE (2017, p. 34).

Tabela 2 – Consumo residencial de eletricidade

REGIÃO	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	REGION
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	TOTAL
NORTE	5,2	5,3	5,2	5,5	5,5	5,7	5,9	6,4	6,9	7,1	NORTH
NORDESTE	16,3	17,3	17,7	18,0	18,0	18,2	19,2	19,2	19,9	20,2	NORTHEAST
SUDESTE	54,5	53,9	53,6	52,9	53,0	52,4	51,2	50,1	49,3	48,8	SOUTHEAST
SUL	16,5	16,2	16,1	16,0	15,8	15,9	15,7	16,1	15,5	15,6	SOUTH
CENTRO-OESTE	7,5	7,4	7,4	7,7	7,6	7,8	7,9	8,1	8,3	8,3	CENTER-WEST

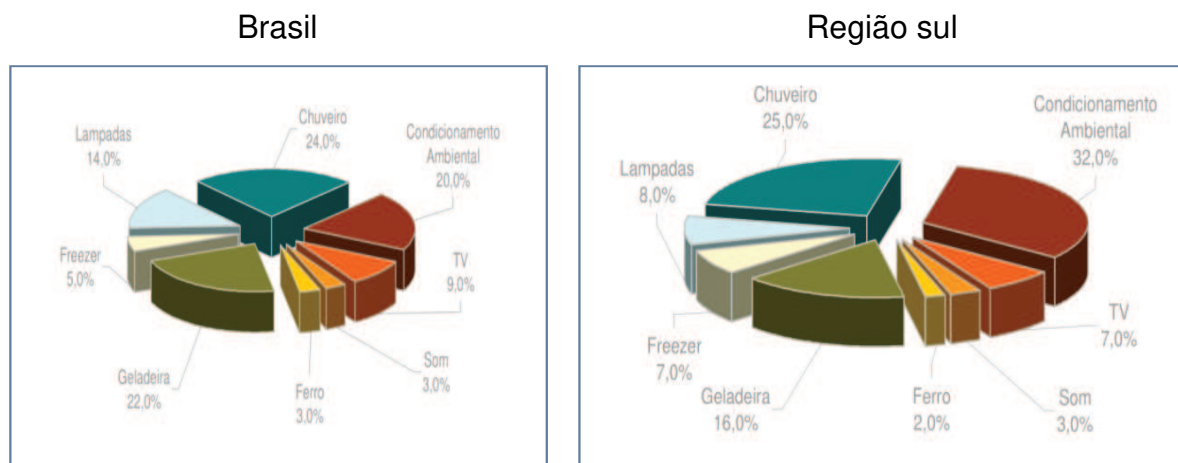
Fonte: Brasil e EPE (2017, p. 155).

Entre outras medidas de eficiência energética existentes no país, destaca-se o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), criado em 1984 com o objetivo de informar ao consumidor sobre os produtos com maior eficiência da categoria. (EPE, 2017). Em 1985 foi criado, pelo Ministério de Minas e Energia (MME), o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL). Dentre os principais destaques de 2015 estão a disseminação do Selo Procel Edificações, com sua concessão para um total de 21 edificações construídas e outras 10 na etapa de projeto.(BRASIL; EPE, (2017)).

Nesse contexto, a atenção volta-se à escassez de recursos naturais e o papel da construção civil no que diz respeito ao desempenho das edificações e aplicabilidade dos materiais empregados, especificamente em habitações.

O setor residencial no Brasil é responsável por 25,6% do consumo total de energia elétrica devido ao consumo dos equipamentos eletrodomésticos, segundo balanço energético nacional de 2017(Tabela1). (BRASIL; EPE, 2017).

Gráfico 2 – Consumo final na carga residencial Brasil e região sul

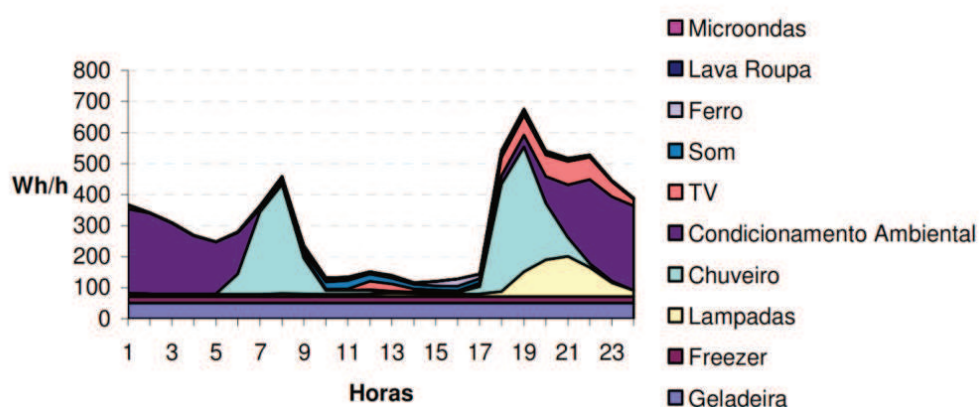


Fonte: Brasil e EPE (2017, p. 15 e 17).

Segundo dados do Procel, entre 2004 e 2005, no Gráfico 2, a distribuição de energia elétrica consumida na classe residencial do país, na qual há refrigeração – geladeiras e freezers - aparece como responsável por 27% desse consumo, já na região sul representa 23%. No que se refere ao condicionamento ambiental (20%), e a região sul os aparelhos convencionais e outros correspondem a 32%.

O Gráfico 3 apresenta o consumo horário dos equipamentos, observa-se picos de consumo provavelmente nos horários de maior permanência na residências e o consumo contínuo dos equipamentos em stand by.

Gráfico 3 - Curva de carga diária média na região sul



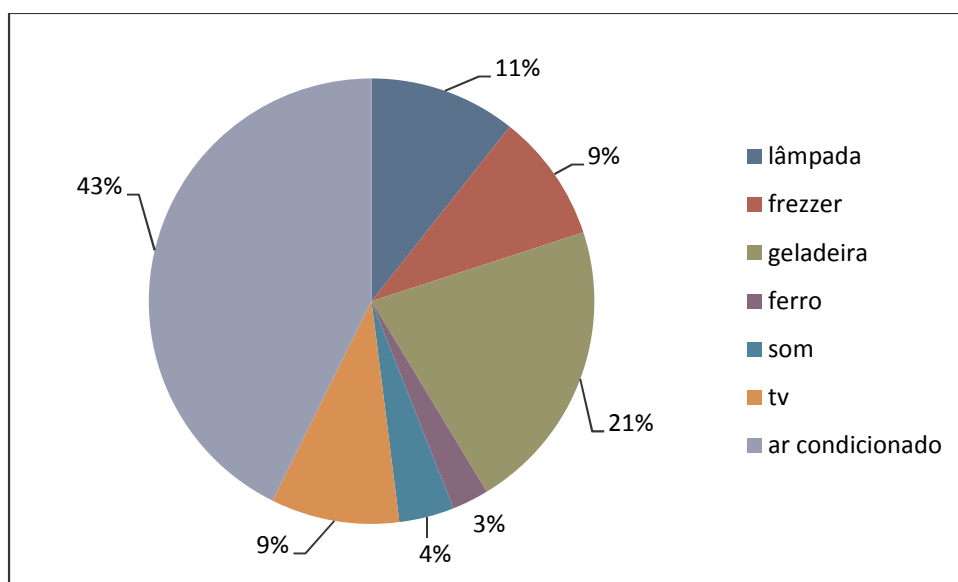
Fonte: Eletrobrás; Procel (2005, p. 19).

Realizando um comparativo do consumo final de carga residencial Gráfico 4 na região sul e considerando a edificação sem uso de chuveiro elétrico, pois as

instalações são para chuveiro a gás, o consumo dos equipamentos para condicionamento de ar passam para 43%, seguido do refrigerador 21% do consumo de energia para uma residência.

Redistribuindo o percentual do consumo de energia, da região sul, gasto por equipamentos quando na residência não há chuveiro elétrico (Gráfico 4), o consumo de energia do equipamento de ar condicionado corresponde aproximadamente 50% do consumo de uma residência, por esse motivo buscou-se analisar diferentes sistemas construtivos, avaliando diferente desempenho térmico e o consumo de energia da edificação.

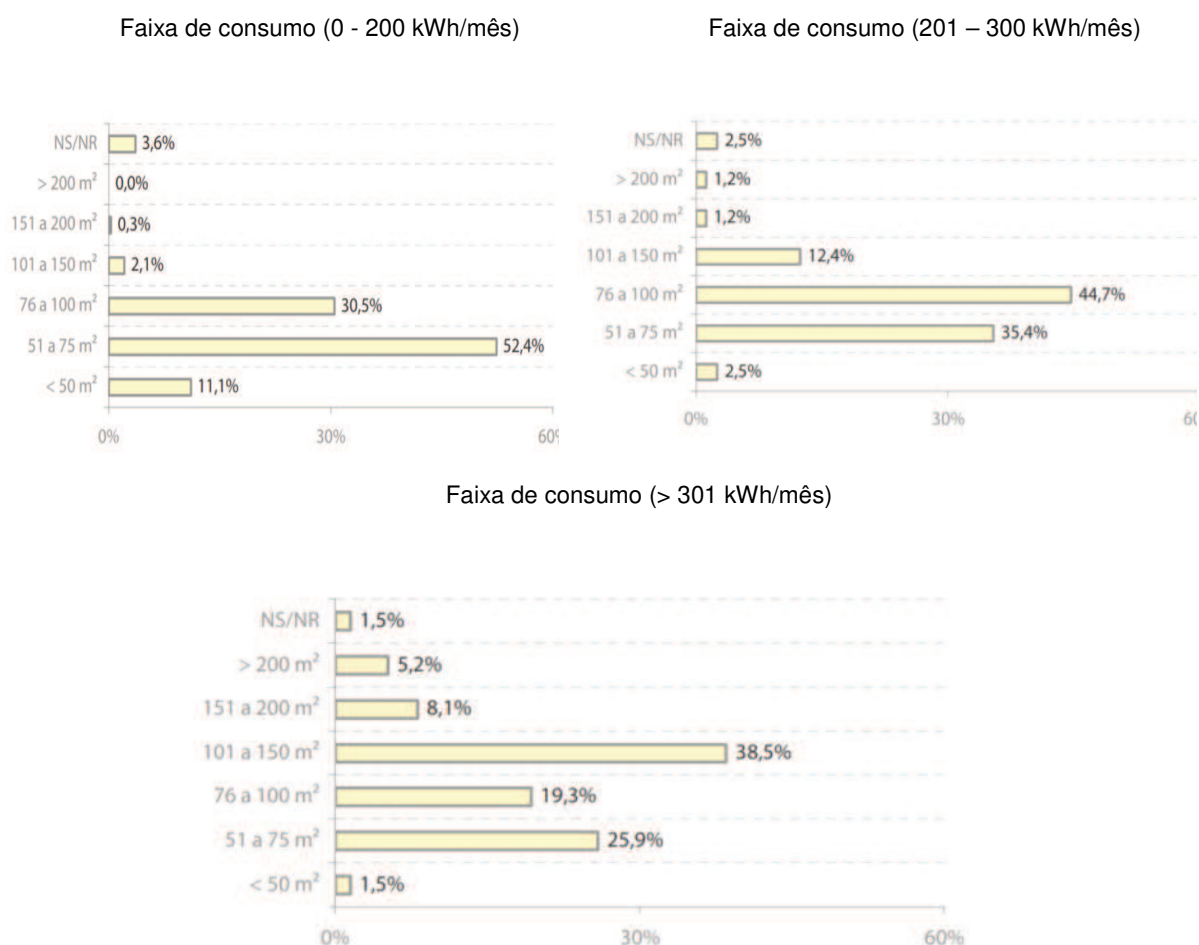
Gráfico 4 – Consumo final na carga residencial sem chuveiro



Fonte: Elaborado pela autora.

O Gráfico 5 resulta na análise de consumo de energia por área construída elaborada em 2005 pela Eletrobrás e observa-se quando a tendência de maior área construída maior o consumo de energia.

Gráfico 5 – Relação da área construída e consumo na região sul



Fonte: Eletrobrás; PROCEL (2005, p. 22).

A identificação do consumo energético em edificações residenciais pode ser realizada por meio das metodologias de avaliação de eficiência energética do RTQ-R - selo Procel: Edifica Residencial e Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), identificando os custos de energia. (PIRES, 2013).

O PROCEL promove o uso racional da energia elétrica em edificações através do PROCEL EDIFICA, as ações foram ampliadas com o objetivo de incentivar a conservação e o uso eficiente dos recursos. Estima-se um potencial de redução do consumo em 50% para novas edificações e de 30% para aquelas que promoverem reformas que contemplem os conceitos de eficiência energética em edificações. (BRASIL, 2016).

3 METODOLOGIA

A fim de atender aos objetivos do trabalho, a estratégia de pesquisa adotada foi um estudo de caso, tendo como objeto de estudo duas edificações residenciais verticais, sendo que a edificação denominada Edificação A atende ao nível superior da norma de desempenho das edificações NBR 15575 em vigor em 2013 (projeto e execução) e a outra edificação (Edificação B) foi construída e entregue anterior à referida norma. Como critério de escolha, ambas as edificações estão na mesma cidade, conforme Figura 3, consequentemente mesma zona bioclimática. O método desenvolvido para elaboração desta dissertação baseou-se no procedimento de avaliação de desempenho térmico pelo método de simulação computacional e análise do consumo de energia.

Figura 3 – Mapa de localização das edificações A e B



Fonte: Novo Hamburgo... (2018).

3.1 DESCRIÇÃO DAS EDIFICAÇÕES ESTUDADAS E A REGIÃO

Ambas as edificações são do segmento residencial, voltadas ao público de classe média-alta e foram construídas por uma mesma empresa construtora, porém a concepção e responsabilidade dos projetos foram mediante a contratação de diferentes projetistas.

A edificação A concebida a partir da vigência da NBR 15575:2013 buscou atender, na fase projeto e fase de construção, as metas adaptando seus sistemas de vedação interno e externo a fim de atingir as exigências na norma para classificação nível superior. A concepção de projetos buscou realizar fechamento dos cômodos e demais ambientes da edificação através de paredes compostas.

O sistema de vedação adotado é composto de bloco cerâmico revestido com bases cimentícias, chapisco, emboço e massa fina ou massa corrida e tinta. Nas paredes externas e internas das unidades com blocos cerâmicos 14 x 19 x 29 cm, reboco na face externa é 3,5cm, e de 2,5cm na face interna, com câmara de ar de 2 cm entre os blocos. Nas paredes internas, o reboco é de 2,5cm em ambas as faces. Para melhor desempenho da edificação foi importante ser analisado e concebido o sistemas de vedação que separa os cômodos, pois são ambientes com objetivos diferentes.

O revestimento do piso na sala e dormitórios é em madeira laminada de 7 mm sobre laje de entre piso em concreto com espessura de 12 cm e contrapiso 3 cm. As portas externas são maciças em MDF com espessura de 3 cm, as portas internas são semiocas também em MDF espessura de 3 cm. As esquadrias possuem vidro incolor duplo 4mm + 6mm com câmara de 9mm. O revestimento da fachada é em textura rústica, nas cores cinza claro e escuro.

O sistema de cobertura tem como função a estaqueidade como também proteção dos agentes naturais e contribuição para o conforto termoacústico da edificação. Para atender estas exigências, a edificação foi construída com os seguintes elementos construtivos: laje em concreto, espessura 12 cm, contrapiso 3 cm, asfalto, manta Ebios e contrapiso de 5cm.

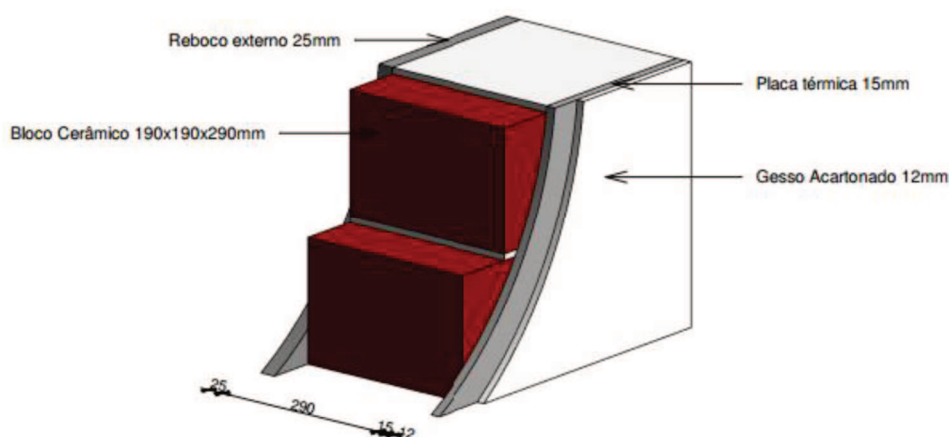
A fim de atender às exigências de nível superior para o desempenho térmico no inverno, a temperatura do ar no ambiente interno deve ser maior ou igual à temperatura mínima externa acrescida de 7º C. A exigência para o verão é que a temperatura do ar no interior seja menor ou igual à temperatura máxima externa

decrecida de 4° C, conforme ABNT (2013) e Quadro 3 para zona bioclimática 3.(Bianca p. 57)

Nos últimos pavimentos onde estão localizados os Lofts, foi necessário utilizar materiais que atendessem nas especificações técnicas e características de desempenho térmico. Após algumas pesquisas de mercado, os materiais utilizados na edificação seguem padrões europeu no que diz respeito aos aspectos de desempenho térmico e acústico, onde utilizam chapa formada por fibras de madeira mineralizada e aglomerada com cimento portland, prensada e curada naturalmente.

Neste caso, as chapas de 15mm foram fixadas internamente, nas paredes com face para o lado externo dos Lofts, com a utilização de buchas, parafusos e cola, e para dar acabamento às paredes optou-se por placas de gesso acartonado coladas a estrutura da parede (Figura 4).

Figura 4 – Composição das paredes externas dos Lofts.



Fonte: KRAI (2016).

Para a simulação, as informações da ficha técnica foram fundamentais a fim de alimentar os dados de forma correta quanto às características físicas e mecânicas dos blocos cerâmicos e das absorvências das cores utilizadas nas fachadas, o que trouxe confiabilidade nos dados obtidos da análise. Assim como para a melhoria do desempenho a utilização de vidros duplos (vidro 4 mm + câmara 9 mm + vidro 6 mm) e refletivos com 42,2% de transmitância solar que resultou no desempenho térmico de nível superior para todas as fachadas e andares.

A Fotografia 1 mostra a fachada da edificação A. Trata-se de um edifício residencial certificado pelo Instituto Tecnológico em Desempenho e Construção civil – itt Performance, da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), como possuindo desempenho no nível superior, de acordo com a ABNT NBR 15575:2013 – Edificações Habitacionais – Desempenho. A edificação, entregue em janeiro de 2017, possui 16 pavimentos tipo compostos por 72 unidades habitacionais de dois e três dormitórios (área 94,76 m² e 115,58 m²) e oito apartamentos tipo loft (área variando entre 121m² a 167m²). A área comum do empreendimento é de 17.993,63 m².

Os apartamentos foram entregues com espera para colocação de split nos quartos e estar/jantar, fonte alternativa de energia solar para aquecimento da rede de água que abastece torneiras e chuveiros, e sistema de água quente do tipo tubos solares localizados na cobertura. A especificação dos materiais empregados na obra foi realizada com a intenção de atingir os critérios estabelecidos ao nível superior de atendimento da NBR 15.575: 2013, previamente ensaiados e certificado de acordo com os critérios da norma.

Alguns ensaios mecânicos e de caracterização dos materiais foram realizados no Laboratório de Tecnologia Construtiva (LBTEC), na Universidade de Caxias do sul, também no Laboratório de materiais de construção civil (LMCC), da Universidade Federal de Santa Maria. Os certificados de alguns materiais foram fornecidos pelo fabricante, atendendo as normas técnicas para os ensaios específicos e os critérios da norma de desempenho. O maior número de ensaios dos materiais e do conjunto dos sistemas construtivos para análise e avaliação do desempenho foi realizado no Instituto Tecnológico em Desempenho e Construção civil – itt Performance, na Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).



Fonte: Registrada pela autora.

Todos os sistemas de vedação vertical, quando necessário alterar a tipologia da parede, tiveram o restante das análises realizadas novamente e realizados ensaios mecânico necessário posterior à definição da simulação térmica.

Para atender os 6 critérios estabelecidos na norma para o sistema de vedação, durante a execução da obra, atrasos ocorreram devido às definições dos elementos construtivos. Além deste fato, houve necessidade de alteração no sistema de ventilação do ambiente, em relação ao projeto original, pois já estava sendo atendido quanto aos vão das esquadrias.

Os novos sistemas de vedação vertical, executados para atender o desempenho térmico e acústico, foram realizados por equipes extras. O processo de adequação à norma evidencia que há possibilidade atender aos requisitos de desempenho e proporcionar aos usuários uma edificação com mais conforto e durabilidade. Sendo possível observar que durante todo o trabalho desenvolvido o

gerenciamento mostrou-se eficaz devido a mudança de comportamento analisando desde a concepção exigindo de seus fornecedores a comprovação da qualidade do seu produto e em casos específicos realizar ensaios para atestar os sistemas, além de manter um controle rígido das execuções.

A Edificação B (Fotografia 2) projetada antes do vigor da NBR 15.575:2013 e foi construída com materiais tradicionalmente empregada pela construtora, porém, sem certificações, laudos ou ensaios contendo as características físicas e mecânicas dos materiais empregados.

A alvenaria de vedação foi com paredes externas em bloco cerâmico 19 x 19 x 29 cm, com revestimento de chapisco e reboco nas faces interna (1,5 cm) e face externa (2,0 cm) As paredes internas são com blocos cerâmicos 14 x 19 x 29 cm, com chapisco e reboco de 1,5cm nas faces interna e externa.

O revestimento de piso na sala integrada com cozinha é em placas cerâmicas de porcelanato polido 60x60cm espessura 10 mm, e nos dormitórios em piso laminado 7 mm. A laje de entre piso em concreto, com espessura de 10 cm e contrapiso de 5 cm. O revestimento de fachada é em textura rústica, nas cores cinza claro e branco.

O sistema de cobertura da torre é com telhado com estrutura em madeira, telhas de fibrocimento ondulada de 8 mm de espessura sobre laje da cobertura em concreto espessura 10cm. As unidades possuem forro de gesso nos ambientes. As portas externas são maciças em MDF, espessura de 4 cm e as portas internas, semiocas em MDF, espessura de 4 cm. As esquadrias da edificação possuem vidro Incolor duplo 4mm + 6mm com câmara de 10mm.

Na Fotografia 2 apresenta a edificação B, que foi entregue em dezembro de 2013, possui 16 pavimentos tipo compostos por 48 unidades habitacionais de dois e três dormitórios (área 89,26 m² e 111,42m² e 112,69m²). A área comum do empreendimento é de 11.763,36 m².

Os apartamentos foram entregues com espera para colocação de split nos quartos e estar/jantar, fonte alternativa de energia solar para aquecimento da rede de água que abastece torneiras e chuveiros, e sistema de água quente do tipo tubos solares localizados na cobertura. A especificação dos materiais empregados na obra, embora tenha primado por qualidade, não teve os mesmos critérios de avaliação para atendimento à norma NBR 15.575/2013, com ensaios e certificação de acordo com os critérios da norma.

Fotografia 2 – Edificação B - fachadas norte e sul



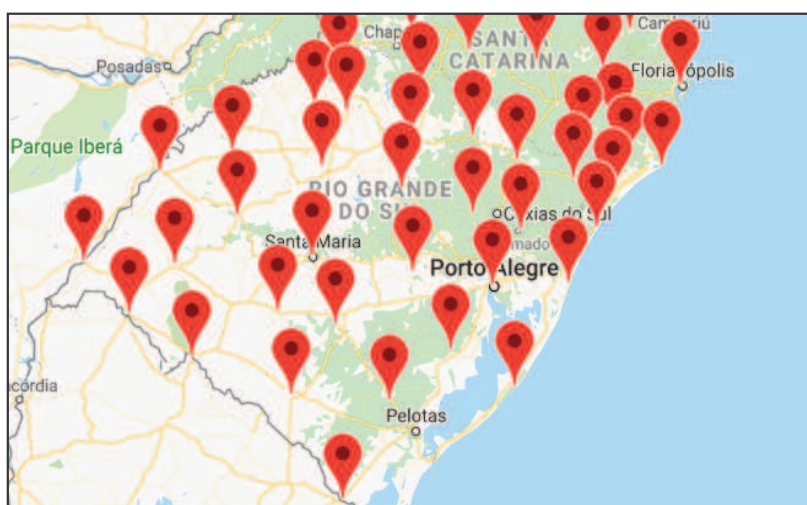
Fonte: Registrada pela autora.

Ambas as edificações estão localizadas na cidade de Novo Hamburgo, definida como uma cidade de clima quente e temperado onde existe uma pluviosidade significativa ao longo do ano, sendo que, mesmo o mês mais seco, ainda tem muita pluviosidade, com temperatura média de 19,4°C, conforme dados obtidos de estações meteorológicas de todo o mundo coletados entre 1982 e 2012. (CLIMATE DATA, 2017)

Os arquivos climáticos de municípios brasileiros foram elaborados pelo Roriz (2012), com base em estações meteorológicas do INMET entre os anos de 2000 e 2010 e disponíveis em formato .epw. Outras variáveis foram estimadas por meio de cálculo e do aplicativo *Weather Converter* do programa EnergyPlus (SCHELLER, 2015), 33 estação com dados convertidos (Figura 5), das 44 estações meteorológicas

localizadas na a região sul, segundo informações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Figura 5 – Localização das estações meteorológicas



Fonte: INMET (2016).

Tão importante quanto os dados climáticos do local é a definição da zona bioclimática em que está localizada a cidade em estudo. Segundo a NBR 15220-3: 2005, a região sul está enquadrada nas regiões 1, 2 e 3, as quais apresentam diretrizes construtivas de ventilação, sombreamento e condicionamento térmico passivo distintos, e consequentemente recomendação para adequação da edificação ao clima local diferenciado.

O fator climático deve ser considerado, visto que a ineficácia dos dados de um arquivo climático reproduz erros nos resultados das simulações, influenciando a análise, segundo Scheller et al., (2015). Este consiste num dos critérios utilizado na entrada de dados para simulação computacional de desempenho térmico conforme NBR 15.575: 2013, que estabelece temperatura para dia típico afim de classificação do nível de desempenho da edificação em nível mínimo, intermediário e superior. Os dados do dia típico deverão ser pesquisados mediante referências bibliográficas e

análise dos institutos de pesquisa, como LABEEE onde estão disponíveis mais de 411 arquivos dados climáticos das cidades brasileiras, e são estes dados em formato .ewp utilizados para simulação computacional no programa EnergyPlus.

3.1 ETAPAS DE PESQUISA

O desenvolvimento da pesquisa foi dividido em duas etapas, conforme mostra a figura do delineamento da pesquisa (Quadro 1), de acordo com os objetivos do trabalho, questões de pesquisa e fontes de evidências utilizadas.

Quadro 1 – Delineamento da pesquisa

Analisar edificação residencial vertical classificada no nível superior (NBR 15.575: 2013) na fase de projeto e execução, avaliando desempenho térmico através dos sistemas construtivos e fatores que influenciam de consumo de energia.			
ESTRATÉGIA DE PESQUISA/ OBJETOS DE ESTUDO			
Estudo de caso / Edificação A (projeto e execução atendem nível superior na NBR 15.575:2013) Edificação B (construída antes da NBR 15.575:2013)			
ETAPA	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	QUESTÕES DE PESQUISA	FONTES DE EVIDÊNCIA
1	Avaliar o desempenho térmico dos sistemas construtivos conforme NBR 15575: 2013	Considerando o mesmo padrão de usuário, o que diferencia o sistema construtivo das duas edificações? Qual a diferença no desempenho térmico em edificações com sistemas construtivos diferentes?	Análise de projetos e memoriais, entrevistas com a construtora, simulação dos projetos com software Energy plus
2	Analisar consumo de energia em diferentes unidades habitacionais das edificações A e B Investigar variáveis que influenciam o consumo de energia das unidades habitacionais	Há diferença no consumo de energia entre os dois prédios? Parâmetros utilizados na determinação do desempenho térmico (NBR 15.575:2013) influenciam o consumo de energia? Existe relação entre a edificação que atende a ND (nível superior) e a que não atende em termos de desempenho térmico e consumo de energia?	Análise de consumo de energia das unidades Análise estatística com regressão linear (consumo de energia e variáveis das edificações) Estabelecimento de relações causais entre os resultados obtidos nas etapas anteriores

Fonte: Elaborada pela autora.

3.1.1 Etapa 1: Características construtivas e desempenho térmico

A Etapa 1 do trabalho buscou responder ao objetivo específico de avaliar o desempenho térmico dos sistemas construtivos conforme NBR 15575: 2013, e teve como embasamento as seguintes questões de pesquisa:

“Considerando o mesmo padrão de usuário, o que diferencia o sistema construtivo das duas edificações? Qual a diferença no desempenho térmico em edificações com sistemas construtivos diferentes?”

Conforme NBR 15575: 2013, o desempenho térmico da edificação pode ser avaliado por meio do método simplificado e simulação computacional. Para responder ao objetivo específico e as questões de pesquisa propostos nesta etapa foi realizada uma análise dos projetos e memoriais descritivos das duas edificações estudadas, buscando identificar como as edificações foram projetadas.

Inicialmente foi realizada reunião com os responsáveis técnicos da construtora para definição das edificações em estudo. Primeiramente solicitou-se à construtora acesso à documentação de três empreendimentos e a possibilidade de realizar pesquisa com os usuários a fim de avaliar detalhadamente o perfil de usuários, seus hábitos e consumos. A primeira alternativa foi analisar três edificações construídas pela mesma construtora na mesma região e mesmo perfil de usuário. Mas devido à dificuldade de acesso às edificações para leitura de medidores foram analisadas duas edificações.

Com o objetivo de avaliar a diferença dos sistemas construtivos e o desempenho térmico das edificações foram necessários, além dos documentos já apresentados, maiores informações quando aos resultados de ensaios realizados, características dos materiais ou especificação técnica informada pelo fabricante. Foi necessário buscar no arquivo do setor de suprimentos, quais materiais realmente foram empregados na edificação B, assim como as características e propriedades mecânicas.

O memorial descritivo apresentado não haviam informações detalhadas dos sistemas construtivos o que gerou inúmeras dúvidas e a necessidade de mais informações que foram sanadas em reuniões e diversos emails enviado aos setor técnico.

No segundo momento foi realizada pesquisa por meio eletrônico pelo link <https://www.survio.com/survey/d/Z2O4X7X1F6L7F9P6> , esta pesquisa foi enviada à

construtora para reenvio aos condomínios. As questões têm como objetivo analisar o perfil dos usuários por meio do consumo mensal de energia, assim como números de equipamentos de ar condicionado existentes em cada ambiente, como também os hábitos do acionamento dos equipamentos. Outra importante informação diz respeito à satisfação do usuário referente ao conforto térmico dos ambientes da edificação visto que as edificações têm sistemas construtivos diferentes. No Apêndice B estão as questões de pesquisa enviada aos proprietários.

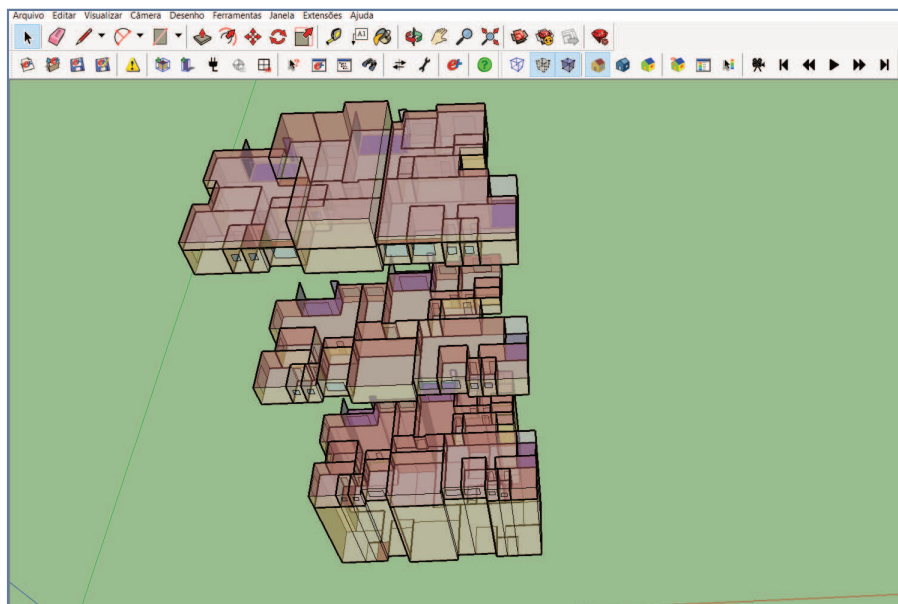
O seguinte procedimento da pesquisa foi analisar os projetos, memoriais descritivos e demais informações sobre o projeto de ambas as edificações, salientando que a edificação A base para esta pesquisa, já havia simulação computacional certificada pelo it- Performance, resultando no atendimento nível superior da norma de desempenho térmico. Portanto esta edificação já possui resultados de simulações de desempenho térmico. Buscou nesses arquivos informações dos elementos construtivos do sistema de vedação, cobertura e fechamentos (esquadrias e vidros), identificando outras as possíveis variáveis que influenciam o desempenho térmico da edificação, como por exemplo, orientação solar, altura dos pavimentos, área das unidades, dados climáticos.

A partir destes dados, iniciou-se a modelagem da edificação B. Primeiramente foi desenhado o pavimento tipo da edificação com o uso do programa AutoCAD e representadas somente as paredes externas e internas, utilizando um traçado (linha) sem espessura no eixo das paredes, pois serão descritas na construção do sistema para a simulação e gerando uma planta baixa do pavimento em arquivo no formato .dwg.

Por intermédio do programa SketchUp foi realizada a modelagem, identificando-se as portas e janelas, altura dos pavimentos, no caso da edificação em estudo, considerando dois andares de subsolo e mais três andares (térreo, mezanino e acesso) para chegar à distância do solo até o primeiro pavimento tipo. Foi criada a mesma projeção (Figura 6) para os pavimentos intermediários e cobertura, considerando a altura do pé esquerdo (piso a piso) entre os pavimentos e realizada a modelagem incluindo aberturas e vidros (Figura 7). Cada ambiente (Figura 8) representa as chamadas zonas térmicas simuladas. Salienta-se que a área de circulação predial, elevadores, banheiros, não são simulados, mas a interface desses ambientes interfere na transmissão de calor entre os ambientes e devem ser considerados. A lavanderia e cozinha são integradas à sala de estar/jantar e foram

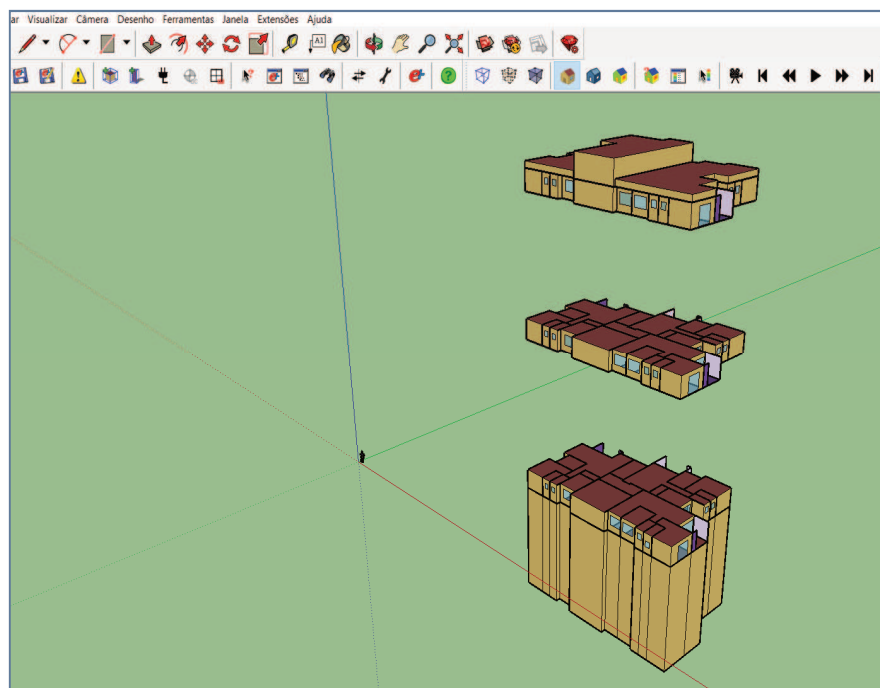
inseridas na mesma zona térmica. A modelagem foi concluída quando todas as superfícies foram conectadas umas com as outras gerando um formato .idf.

Figura 6 - Projeção dos pisos e parede de cada ambiente



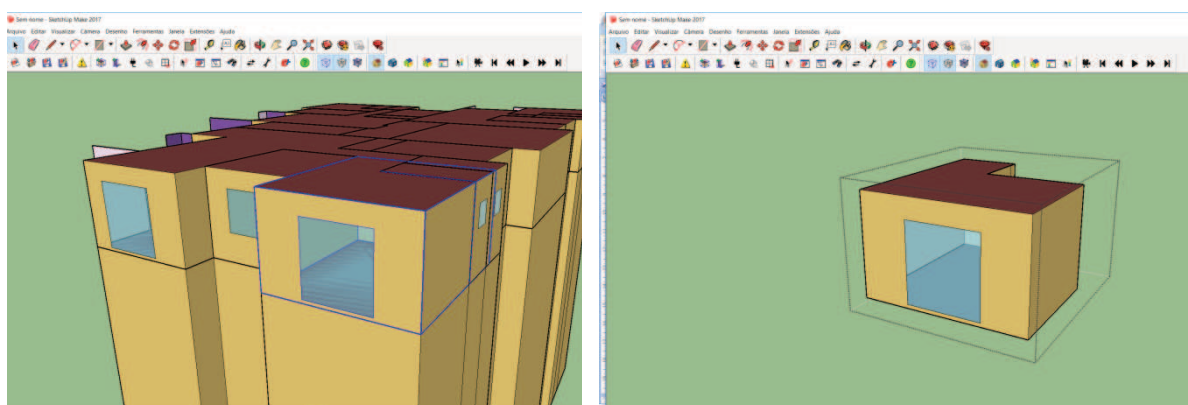
Fonte: Autora

Figura 7 – Modelagem da edificação B



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 8 – Identificação de uma zona térmica



Fonte: Elaborada pela autora.

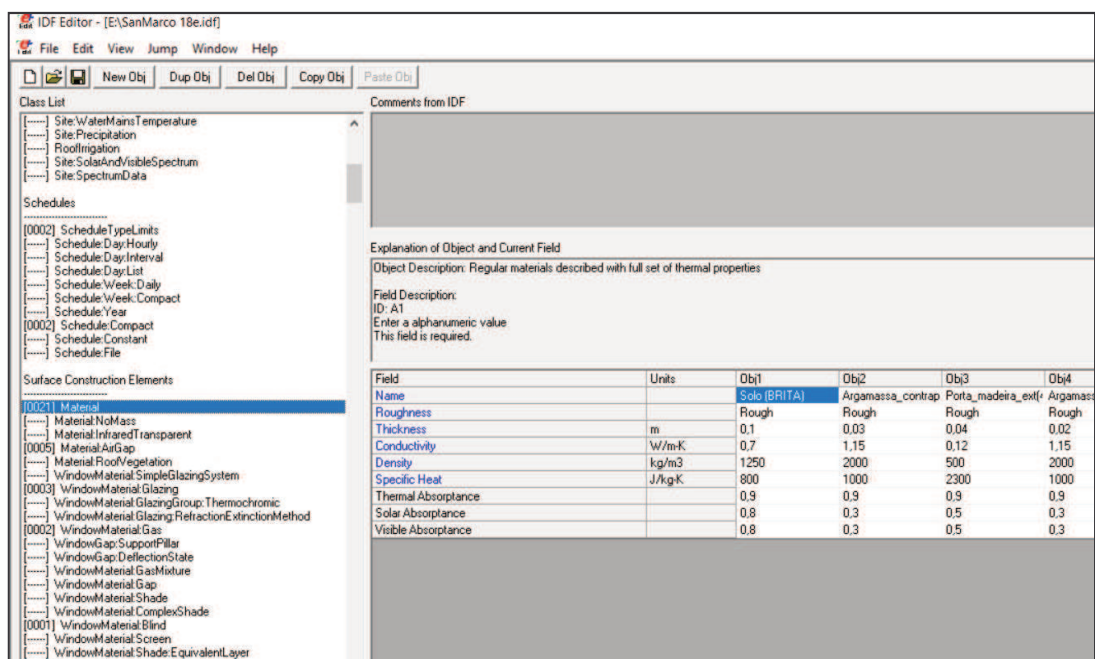
O arquivo gerado no SketchUp foi aberto no software EnergyPlus - EP Launch. A simulação computacional é constituída de vários processos (passos) e inserção de dados no programa. Inicialmente foi determinado o arquivo meteorológico *weather file*, onde foram inseridos os dados climáticos a quais a edificação foi simulada, estes arquivos climáticos foram obtidos no site do LABEEE. A referência dos dados climáticos utilizados para a simulação da edificação B seguiu os mesmos critérios estabelecidos para a edificação A e foram pesquisados pelo Instituto Tecnológico em Desempenho e Construção civil – itt Performance, por meio de referências

bibliográficas e pelo método de pesquisa elaborado por Siqueira et al. (2005), definindo como parâmetro o arquivo climático da cidade de Passo Fundo, localizada na zona bioclimática 2, mesma zona das edificações em estudo. Os arquivos climáticos foram obtidos no site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE). Conforme NBR 15575-1, na falta de dados para cidade onde se encontra a habitação, recomenda-se dados climáticos de cidades com características semelhantes e na mesma zona bioclimática conforme NBR 15220-2. (ABNT, 15575a).

No programa Energyplus foram inseridos os materiais empregados na construção dos sistemas de vedação e cobertura, e respectivas especificações para inserção das propriedades térmicas, como por exemplo, condutividade, densidade, calor específico e absorvância. A NBR 15220-2: 2005, (Anexo D), apresenta as propriedades térmicas de alguns materiais. Para materiais sem especificação na norma, utilizar informações do fabricante, ou realizar ensaios para caracterização dos materiais e avaliar suas propriedades pelo método de cálculo da transmitância, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificação proposto pela Norma.

A Figura 9 mostra a inserção dos dados dos materiais, especificamente as propriedades térmicas e a construção dos sistemas construtivos, isto é, os elementos construtivos que a compõe devem ser inseridos analisando a construção do ambiente externo para e interno e vice e versa, conforme Figura 10, Obj2 - *Interior floor*.

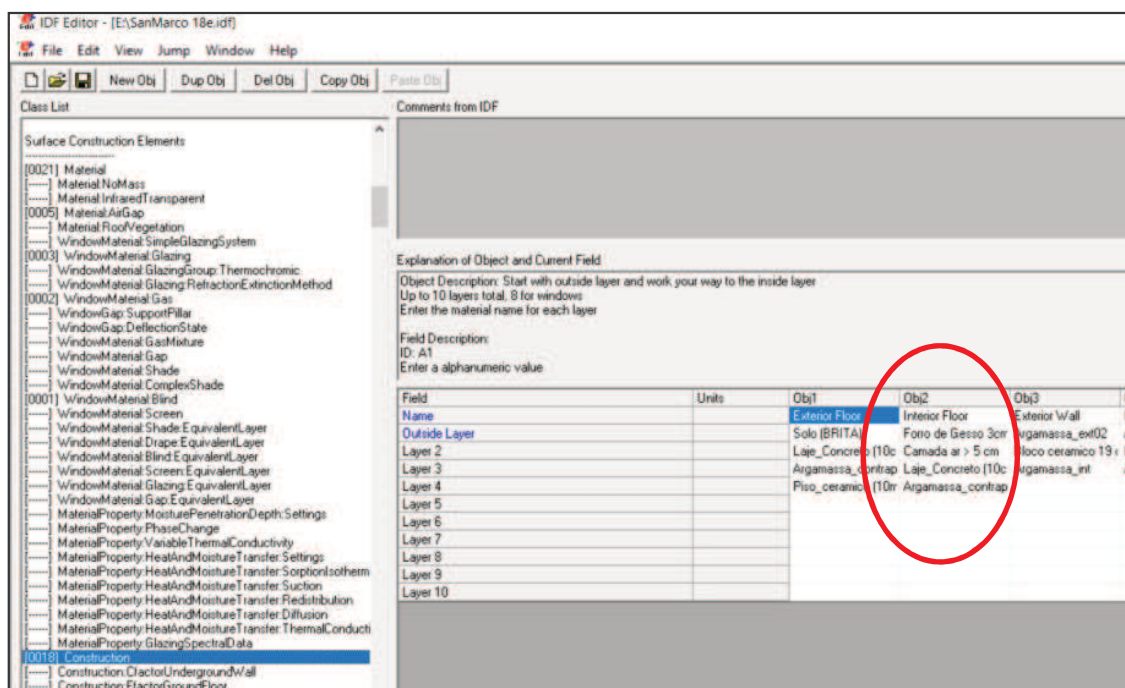
Figura 9 – Inserção de dados dos materiais no programa EnergyPlus



Fonte: Elaborada pela autora.

Deve ser considerada a resistência térmica existente nas camadas de ar na construção das paredes e cobertura, pois esse motivo deve ser verificado no programa o item Material: *Airgroup*. Outros itens importantes são a inserção dos vidros e camada de ar, no caso de vidros duplos e venezianas, pois a norma estabelece que a edificação atenda questões de sombreamento. Na construção dos sistemas, devem ser inseridos sempre na sequência do ambiente externo para ambiente interno e cada de piso, do solo à camada final do piso quando no primeiro pavimento.

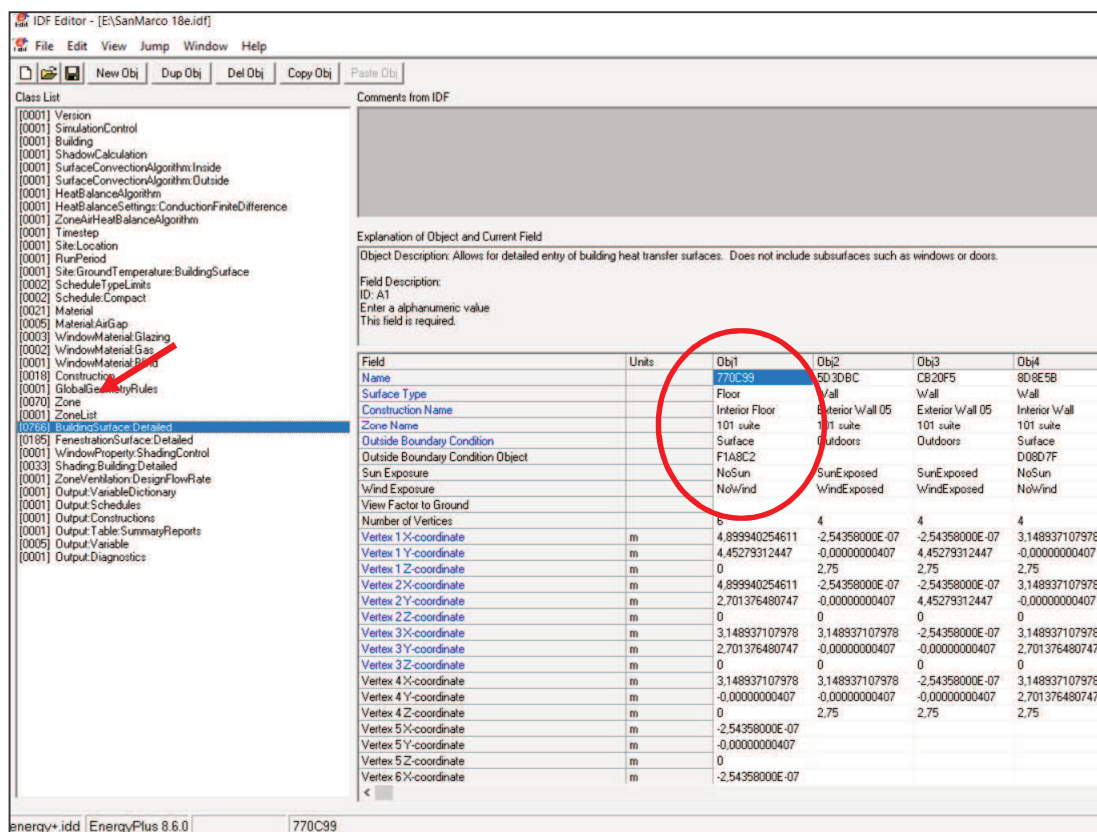
Figura 10 – Inserção dos sistemas construtivos no programa EnergyPlus



Fonte: Elaborada pela autora.

Ao importar o arquivo no EnergyPlus, as zonas térmicas estão representadas em na *Zone* com as informações de seu eixo e no *BuildingSurface* estão identificados os sistemas construtivos, chamado *Construction Name* para cada face da zona térmica, como por exemplo (Figura 11), Obj1, indicada *Interior Floor*- Piso interior da suíte apartamento 101.

Figura 11 – Construção dos Sistemas construtivos no Programa EnergyPlus



Fonte: Elaborada pela autora.

Após a inserção de todos os dados em *construtcion*, foi realizada a simulação. Primeiramente diversos erros foram detectados exigindo correções e novas rodadas de simulações, como por exemplo, a não identificação de interface entre zonas térmicas.

A temperatura do dia típico utilizado para fins de comparação na análise de desempenho térmico na edificação A apresentou dado de temperatura externa para o período de inverno 7,5 °C, em 27de julho, e, para período de verão, 30,4 °C, em 19 dezembro. A edificação A foi simulada em 2016. Para a simulação da edificação B, utilizou-se, a temperatura do dia típico, para o inverno registrou 5,5°C, em 01 junho e, para período de verão, a temperatura, 30,1°C, em 09 janeiro. Ambas as simulações tiveram seus dias típicos determinados conforme método de trabalho segundo Siqueira et al. (2005).

3.1.2 Etapa 2: Consumo de energia de apartamentos das Edificações A e B

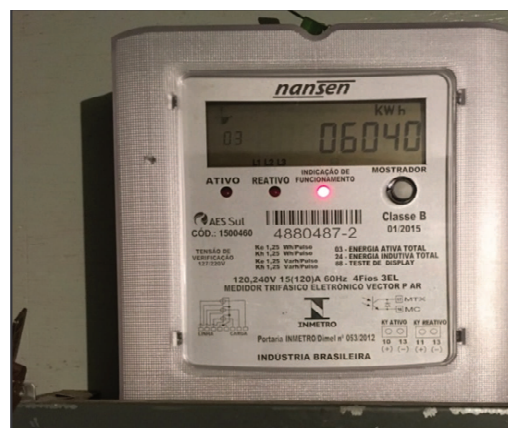
A Etapa 2 do trabalho buscou responder aos objetivos específicos de analisar o consumo de energia de diferentes unidades habitacionais e investigar variáveis que influenciam o consumo de energia das unidades habitacionais. As questões de pesquisa que basearam a realização desta etapa consistem em:

“Há diferença no consumo de energia das edificações em estudo? Parâmetros utilizados para determinação do desempenho térmico (NBR15. 575: 2013) influenciam o consumo de energia? Existe relação entre a edificação que atende à NBR 15.575:2013 (nível superior) e a que não atende, em termos de desempenho térmico e consumo de energia”?

A primeira tentativa de coletar dados sobre os consumos de energia foi realizada mediante questionário enviado aos condôminos das edificações A e B. Foi solicitado no período de um mês o retorno da pesquisa enviada ao usuário como objetivo obter dados de equipamentos de ar condicionado, período de uso do ar condicionado, número de habitantes e sensação de conforto nos ambientes.

Como não houve um número de resposta suficiente para análise por parte dos usuários, a alternativa encontrada consistiu na coleta de informações do consumo de energia elétrica nos medidores, mediante acesso autorizado pelos síndicos. Os dados de consumo foram coletados durante 3 meses, no período de outono e inverno nos apartamentos que possuem medidores digitais e medição ativa que representa kWh gerado, excluindo-se os dados de apartamentos que possuem medidor analógico, devido à necessidade de conversão de unidade utilizada. A fotografia 3 mostram o tipo e as leituras dos medidores digital.

Fotografia 3 – Tipo de medidores digital de energia



Fonte: Registrada pela autora.

Para averiguar se há diferença significativa no consumo de energia entre as duas edificações, visto que ambas possuem sistemas construtivos diferentes buscou-se por meio de análise estatística, utilizando-se regressão linear que faz a relação entre variáveis descritas em um modelo matemático o qual é definido em um conjunto de dados. O consumo de energia foi considerado como variável dependente (y), e parâmetros dos prédios como variáveis independentes (x). As variáveis como orientação solar (norte/sul), nível dos pavimentos, a edificação A e B (prédio 1 e 2), além da área do apartamento são variáveis investigadas na análise o desempenho térmico, definidas de acordo com a NBR15575: 2013.

Após a coleta de dados das variáveis, o tratamento dos dados foi realizado por intermédio do software de estatística “R”, realizando-se regressão múltipla linear para analisar a relação entre o consumo de energia e as demais variáveis, com análise da distribuição das variáveis, de dispersão e diagrama de caixa (*boxplot*).

Foram agrupadas estas variáveis no programa Excel e incluído número de meses da cada medição e salvas com extensão .csv para leitura no software RStudio, uma linguagem de programação para gráficos e cálculos estatísticos. Foram criadas as instruções, que são procedimentos para avaliar os dados de entrada e definir quais análises a serem realizadas com os dados da amostra, e os passos para análise dos dados foram os seguintes:

- ✓ passo 1: indicar onde estão nossos arquivos;
- ✓ passo 2: importar os dados;

- ✓ passo 3: procurar dados atípicos *boxplot* (*outliers*), onde são gerados os dados normalizados, excluir as variáveis com valores mais altos de consumo;
- ✓ passo 4: graficar relações: consumo (kWh) e área (m²); consumo (kWh) e andar; consumo (kWh) e prédio (1 e 2); consumo (kWh) e orientação solar (norte/ sul).

A regressão simples foi efetuada para cada variável (dependente) e no conjunto de todas as variáveis (dependentes) e a variável consumo a fim de avaliar a significância $\alpha = 0,05$ destas das variáveis na relação do consumo de energia das edificações em estudo.

A realização desta etapa envolveu análise dos resultados obtidos nas etapas 1 e 2 do trabalho no sentido de identificar relações entre as características dos prédios, desempenho térmico a partir de simulações de projetos e consumo de energia na fase de uso.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, serão apresentados os resultados dos estudos de duas edificações residenciais verticais, a partir das duas etapas de pesquisa descritas no item anterior.

4.1 ETAPA 1: CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS E DESEMPENHO TÉRMICO

Os resultados da simulação de desempenho térmico da edificação A, realizada em 2016, atendeu às exigências da norma NBR 15575:2013 referente às propriedades termofísicas dos materiais tais como: espessura(e), condutividade (λ), densidade de massa aparente (ρ) e calor específico (c) de paredes, cobertura, forro e pisos. T, como também propriedades térmicas dos vidros que variaram de acordo com o cômodo da edificação, tendo sido utilizado 3 diferentes espessuras resultando na variação de temperatura interna dos ambientes em relação às temperaturas externas, tanto no período de inverno como no verão, conforme apresentado na Tabela 3.

Os critérios estabelecidos no programa Energyplus para simulação computacional desta edificação, consideram as seguintes condições de padrão para os ambientes: taxa de renovação de ar de 1 ren/h no inverno, e 5 ren/h no período do verão; esquadrias com sombreamento e com taxa de renovação de ar de 5 ren/h. Estes dados são informados no programa para simular de forma real o funcionamento da edificação, com a possibilidade de fechamento e abertura das esquadrias permitindo assim a transferência de calor. Conforme norma os resultados foram analisados no último pavimento e lofts localizados acima do último pavimento tipo.

Tabela 3 – Resultados do nível de desempenho térmico - temperaturas internas

ZB	Unidade	Situação	Temperatura externa	Ambientes				Nível de desempenho
				Sala	Dormitório 1	Dormitório 2	Dormitório 3	
2	Apt	Verão	30,4	24,2	23,7	25	23,8	S
		Inverno	7,5	16,9	15,5	16,8	-	S
	Lofts	Verão	30,4	26	24	24,2	-	S
		Inverno	7,5	14,5	15,3	15,2	-	S
Obs: os Valores em °C; N/A: não atende; M: mínimo; I: intermediário; S: superior								

Fonte: itt - Performance.

Nas primeiras rodadas da simulação da edificação B foram detectados os erros na construção das superfícies durante a modelagem. Estes erros puderam ser sanados antes da conclusão da simulação a fim de gerar resultados corretos e confiáveis. O erro muito comum e aceito são os *warning* (Figura 12), pois se refere ao *check list* realizado da simulação, como, por exemplo, mostra a informação que simulação não foi realizada com dados climáticos adotados pelo programa (EUA) e mostra a cidade a que se referem os dados climáticos da simulação em estudo desta pesquisa.

Figura 12 – Relatório dos erros de simulação

```

Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
** Warning ** Processing Monthly Tabular Reports: MechanicalVentilationLoadsMonthly
** ..Variable name=ZONE MECHANICAL VENTILATION NO LOAD HEAT ADDITION ENERGY not valid for this simulation.
** Warning ** Processing Monthly Tabular Reports: MechanicalVentilationLoadsMonthly
** ..Variable name=ZONE MECHANICAL VENTILATION HEATING LOAD INCREASE ENERGY not valid for this simulation.
** Warning ** Processing Monthly Tabular Reports: MechanicalVentilationLoadsMonthly
** ..Variable name=ZONE MECHANICAL VENTILATION HEATING LOAD INCREASE DUE TO OVERCOOLING ENERGY not valid for this simulation.
** Warning ** Processing Monthly Tabular Reports: MechanicalVentilationLoadsMonthly
** ..Variable name=ZONE MECHANICAL VENTILATION HEATING LOAD DECREASE ENERGY not valid for this simulation.
** Warning ** Processing Monthly Tabular Reports: MechanicalVentilationLoadsMonthly
** ..Variable name=ZONE MECHANICAL VENTILATION AIR CHANGES PER HOUR not valid for this simulation.
***** Simulation Error Summary *****
***** There are 1 unused objects in input.
***** Use Output:Diagnostics,DisplayUnusedObjects; to see them.
*****
***** ===== Final Error Summary =====
***** The following error categories occurred. Consider correcting or noting.
***** InterZone Surface Azimuths -- mismatch
***** ..The azimuths (outward facing angle) of two interzone surfaces should not be the same.
***** ..Normally, the absolute difference between the two azimuths will be 180 degrees.
***** ..You can turn on the report: Output:Surfaces:List,Details; to inspect your surfaces.
***** Nominally Unused Constructions
***** ..The nominally unused constructions warning is provided to alert you to potential conditions that can cause
***** ..extra time during simulation. Each construction is calculated by the algorithm indicated in the HeatBalanceAlgorithm
***** ..object. You may remove the constructions indicated (when you use the DisplayExtraWarnings option).
*****
***** EnergyPlus Warmup Error Summary. During Warmup: 0 Warning; 0 Severe Errors.
***** EnergyPlus Sizing Error Summary. During Sizing: 0 Warning; 0 Severe Errors.
***** EnergyPlus Completed Successfully-- 1088 Warning; 3 Severe Errors; Elapsed Time=00hr 01min 49.28sec

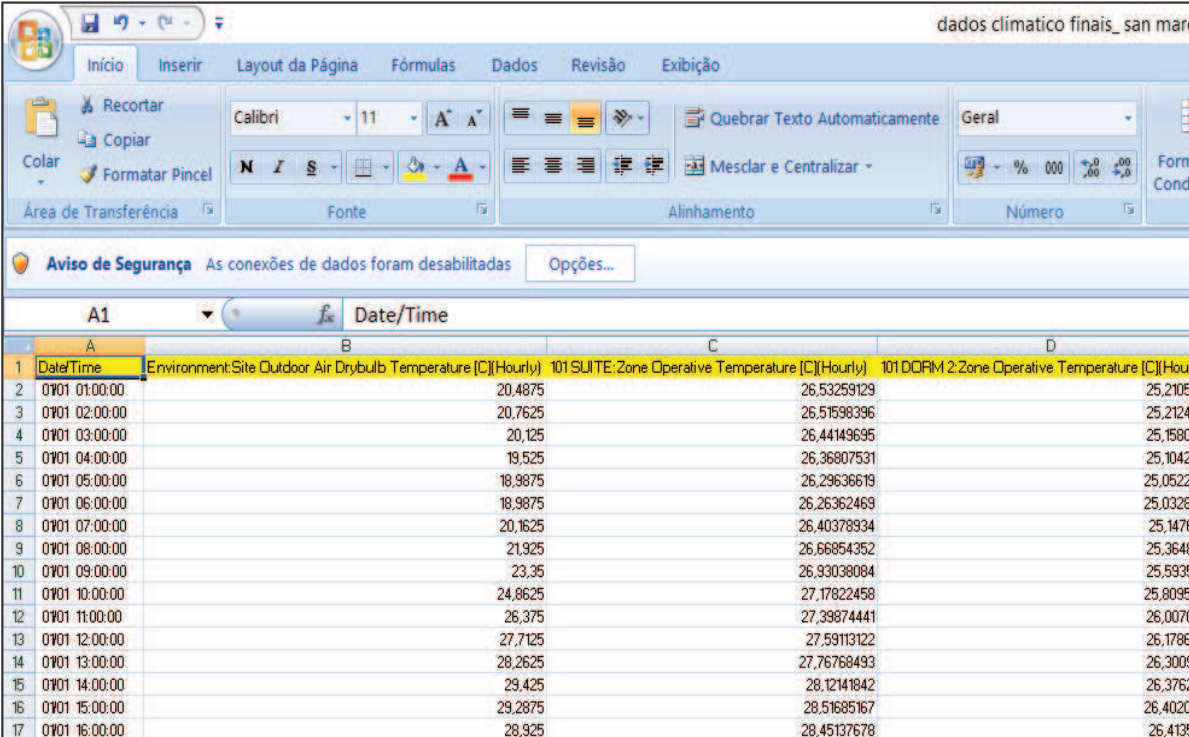
```

Fonte: Elaborada pela autora.

Após a simulação foram gerados vários arquivos, dentre os quais, o arquivo dos dados diários e horários da temperatura do ar, externa e interna, de bulbo seco

para cada zona térmica (Figura 13). Estes dados foram analisados a fim de avaliar as variações térmicas de cada ambiente da edificação durante o período de um ano. Este arquivo em formato.csv foi importado para programa Excel para visualização dos resultados.Tendo conhecimento dos dados de temperatura para inverno e verão do dia típico que é definido como *dia real*. “É caracterizado pelos seguintes fatores: temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade dos ventos e radiação solar para cada dia mais quente ou mais frio do ano segundo a média dos últimos 10 anos”, para a cidade em estudo. Foi necessário tratar os dados a fim de encontrar nos resultados da simulação, qual dia e horário estão mais próximos do dia típico de verão e inverno e a partir disso analisado cada zona térmica e as variações de temperatura.

Figura 13 – Dados diários e horários de temperatura das zonas térmicas



	A	B	C	D
	Date/Time	Environment:Site Outdoor Air Drybulb Temperature [C](Hourly)	101 SUITE: Zone Operative Temperature [C](Hourly)	101 DORM 2: Zone Operative Temperature [C](Hourly)
1	01/01 01:00:00	20,4875	26,53259129	25,21056
2	01/01 02:00:00	20,7625	26,51598396	25,21240
3	01/01 03:00:00	20,125	26,44149695	25,15806
4	01/01 04:00:00	19,525	26,36807531	25,10427
5	01/01 05:00:00	18,9875	26,29636619	25,05228
6	01/01 06:00:00	18,9875	26,26362469	25,03283
7	01/01 07:00:00	20,1625	26,40378934	25,14761
8	01/01 08:00:00	21,925	26,66854352	25,36488
9	01/01 09:00:00	23,35	26,93038084	25,59355
10	01/01 10:00:00	24,8625	27,17822458	25,80954
11	01/01 11:00:00	26,375	27,39874441	26,0070
12	01/01 12:00:00	27,7125	27,59113122	26,17863
13	01/01 13:00:00	28,2625	27,76768493	26,30099
14	01/01 14:00:00	29,425	28,12141842	26,3762
15	01/01 15:00:00	29,2875	28,51685167	26,40203
16	01/01 16:00:00	28,925	28,45137678	26,4135

Fonte: Elaborada pela autora.

Os resultados do nível de desempenho térmico do último pavimento para cada unidade habitacional estão apresentados na Tabela 4, como também estão as temperaturas internas de cada zona térmica. Com base nos dados para zona

bioclimática 2 em estudo, foram analisados os resultados quanto à diferença em graus de temperatura interna e externa para cada uma das zonas.

As zonas térmicas são denominadas Sala, suíte, dormitório 1 e dormitório 2(exceto apt 03) . Conforme Anexo B, estão demonstrados os critérios para classificação do nível de desempenho térmico mínimo para condições de verão e intermediário para condições de inverno e no Anexo E a orientação solar de cada unidade habitacional. O último pavimento apresentou desempenho térmico mínimo no período do verão, exceto um suíte fachada norte e para o período do inverno para todos os ambientes classificaram nível de desempenho térmico intermediário, conforme Tabela 4.

Conforme a NBR 15.575: 2013 na avaliação da edificação multipiso devem ser selecionada a unidade do último andar com cobertura exposta e a unidade habitacional escolhida deve ser a considera a mais crítica do ponto de vista térmico. Isto é, nas condições de verão, janelas da sala e dormitórios voltados para oeste e outra parede para norte. Nas condições de inverno, janelas da sala e dormitórios voltadas para sul e outra parede para leste. (ABNT, 2013a). Sendo assim edificação em estudo deve ser classificada na sua totalidade, isto é, todos os ambientes (zonas térmicas) devem atender ao mesmo critério de avaliação, mesmo que para isso seja necessário à substituição de materiais em alguns ambientes, como ocorreu com a edificação A.

Tabela 4 - Nível de desempenho último pavimento

ZB	Unidade	Situação	Temperatura externa	Ambientes				Nível de desempenho
				Sala	Suíte	Dormitório 1	Dormitório 2	

2	Apt 01	Verão	30,1	29,2	30,1	27,7	29,9	M
		Inverno	5,5	11,1	10,8	11,3	11,4	I
	Apt 02	Verão	30,1	29,6	31,3	29,1	30	M
		Inverno	5,5	11,2	10,8	11,3	11,5	I
	Apt 03	Verão	30,1	28,1	29	28,2	-	M
		Inverno	5,5	11,6	11,4	11,8	-	I
Obs: os Valores em °C; N/A: não atende; M: mínimo; I: intermediário; S: superior								

Fonte: Elaborada pela autora.

Portanto, é possível classificar a edificação como uma edificação com nível mínimo para desempenho térmico, mesmo que algumas zonas térmicas não tenham atendido nível mínimo, mas a diferença de temperatura externa interna é inferior a 1°C.

A segunda análise consistiu na avaliação do desempenho térmico dos pavimentos inferior e intermediário para investigar se há diferença de desempenho entre pavimentos, visto que o último pavimento é considerado como o mais crítico. Os resultados do primeiro pavimento estão apresentados na Tabela 5, observa-se maior tendência ao nível mínimo de desempenho térmico para verão, já o período do inverno mostrou resultados mais satisfatórios onde atende ao nível intermediário e superior em alguns ambientes e é importante salientar que esta unidade está localizada na fachada sul onde as condições são menos favoráveis devido a pouca incidência solar e edificações vizinhas.

Tabela 5 – Nível de desempenho primeiro pavimento

ZB	Unidade	Situação	Ambientes	
----	---------	----------	-----------	--

			Temperatura externa	Sala	Suíte	Dormitório 1	Dormitório 2	Nível de desempenho
2	Apt 01	Verão	30,1	28,8	29,8	29,4	27,1	M
		Inverno	5,5	12,1	11,8	12,4	12,3	I
	Apt 02	Verão	30,1	27,6	28,9	29,4	27,8	M
		Inverno	5,5	12,7*	12,4	12,6*	12,8*	S
	Apt 03	Verão	30,1	28,9	31	28,3	-	M
		Inverno	5,5	12,2	11,7	12,3	-	I
Obs: os Valores em °C; N/A: não atende; M: mínimo; I: intermediário; S: superior *para ambiente nível superior								

Fonte: Elaborada pela autora.

Os resultados de temperatura interna nos ambientes do pavimento intermediário são semelhantes aos do primeiro pavimento, mas apresentaram desempenho térmico inferior ao mínimo para verão nas suítes e dormitório 1 em ambas as fachadas, conforme Tabela 6.

Tabela 6 – Nível de desempenho pavimento intermediário

ZB	Unidade	Situação	Temperatura externa	Ambientes				Nível de desempenho
				Sala	Suíte	Dormitório 1	Dormitório 2	
2	Apt 01	Verão	30,1	29,7	31,7	29,1	30,1	M
		Inverno	5,5	11,9	11,4	12,0	12,1	I
	Apt 02	Verão	30,1	28,1	29,3	30,2	28,2	M
		Inverno	5,5	12,5*	12,2	12,4	12,6*	I
	Apt 03	Verão	30,1	29,3	30,3	27,5	-	M
		Inverno	5,5	11,8	11,5	12	-	I
Obs: os Valores em °C; N/A: não atende; M: mínimo; I: intermediário; S: superior *para ambiente nível superior								

Fonte: Elaborada pela autora.

Segundo Santo et al. (2016) o objetivo de avaliar um andar intermediário é isolar a influência das perdas térmicas pelo solo e dos ganhos térmicos pela cobertura, proporcionando maior influência da fachada, verificada no posicionamento dos dormitórios, que recebe influências da orientação solar nas paredes externas.

Conforme demonstrado no resultado da simulação, o pavimento intermediário (Tabela 6) apresentou alguns ambientes com desempenho térmico no nível superior no inverno, comparado ao último pavimento (Tabela 4), mas não se confirma no período do verão, pois o pavimento intermediário apresenta desempenho inferior ao mínimo em mais ambientes.

Os autores argumentam que em função dos materiais utilizados, orientação solar, tipo e espessura de vidro pode aumentar o número de horas dentro da faixa de conforto térmico, reduzindo os picos térmicos. Observa-se que o sistema construtivo e materiais utilizados na edificação B foram os mesmos para todos os andares, especialmente no que diz respeito aos sistemas verticais de vedação externa. O sistema de vedações da edificação A buscou atender com diferentes materiais o nível superior de desempenho térmico. Suas paredes possuem isolamento apor meio de câmara de ar entre os blocos cerâmicos, e diferenciando o sistema de vedação para os Lofts localizados acima do ultimo pavimento com os materiais descritos na subcapítulo 3.1 - Descrição das Edificações estudadas e a região.

4.2 ETAPA 2: CONSUMO DE ENERGIA DE APARTAMENTOS DAS EDIFICAÇÕES A E B

4.2.1. Dados coletados e variáveis Construtivas

A pesquisa enviada aos condomínios (Anexo F) não foi respondida, em virtude disto não foi possível utilizar este método para avaliação das características do perfil do usuário, assim como a satisfação de conforto térmico na edificação .

Para análise de consumo de energia elétrica foram realizadas leituras através dos medidores de energia. Segundo Rodriguez-Ubinasa et al.(2014), há necessidade de analisar o consumo de energia das residências por meio de medidores por equipamento, permitindo saber quanto energia é usado para as casas em tempo real. A Tabela 7 e Tabela 8 apresentam o consumo da edificação A - fachada norte e fachada sul. Observa-se que o consumo é maior na fachada Norte. No entanto, os apartamentos da fachada Norte têm área maior, comportando mais um dormitório, isto é, mais uma espera para ar condicionado e pontos de energia. Também se observa no terceiro pavimento consumo extremamente elevando, mas demais leituras não

ocorreram o mesmo. Devido a isso estes valores foram excluídos da amostra, visto que poderia ser problema no equipamento instalado.

Tabela 7 – Variáveis construtivas e consumos mensais das unidades habitacionais edificação A - Fachada norte

Edificação A						
Apartamento final	andar	orientação solar	área (m ²)	CONSUMO MENSAL abril /maio	CONSUMO MENSAL maio /junho	CONSUMO MENSAL junho/julho
1	3º	norte	115,58	1.321*	238	327
2	3º	norte	115,58	1.783*	366	385
1	5º	norte	115,58	450	270	360
2	7º	norte	115,58	339	228	278
1	8º	norte	115,58	297	246	322
2	8º	norte	115,58	236	142	169
2	10º	norte	115,58	163	143	195
2	11º	norte	115,58	349	222	201
2	12º	norte	115,58	256	308	344
2	13º	norte	115,58	356	320	339
1	15º	norte	115,58	286	197	224
2	15º	norte	115,58	411	327	463
1	16º	norte	115,58	195	162	181
1	17º	norte	115,58	651	619	837
2	17º	norte	115,58	454	273	251
1	18º	norte	115,58	426	429	471
2	18º	norte	115,58	286	217	233
1	19º	norte	115,58	265	190	221
2	19º	norte	115,58	432	435	399
Média				344	281	326
Desvio padrão				119	119	154
Coeficiente de variação				86%	42%	47%

Fonte: Elaborada pela autora.

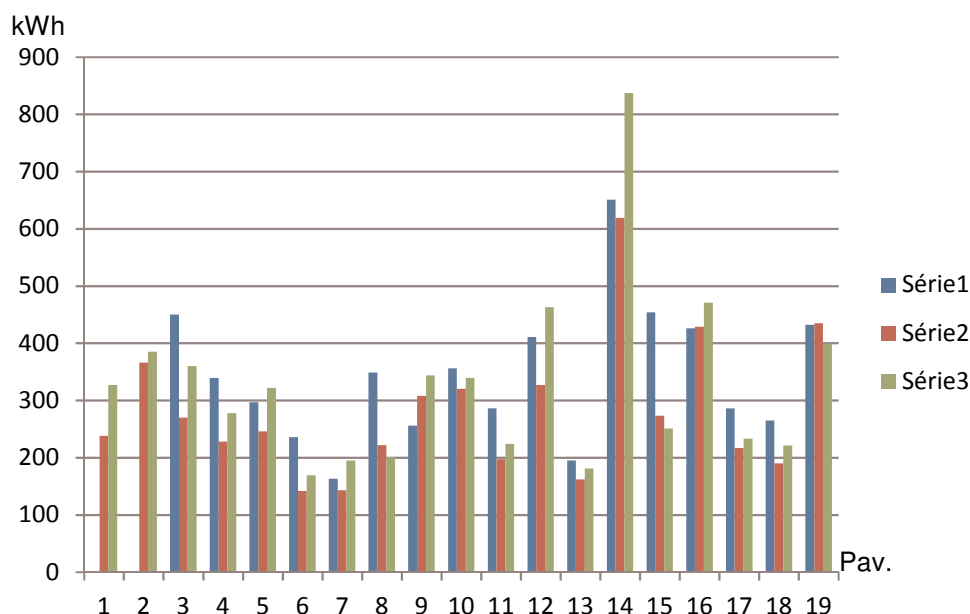
Tabela 8 – Variáveis construtivas e consumos mensais das unidades habitacionais
edificação A - Fachada sul

Edificação A						
Apartament o final	andar	orientação solar	área (m ²)	CONSUMO MENSAL abril /maio	CONSUMO MENSAL maio /junho	CONSUMO MENSAL junho/julho
4	3º	sul	94,76	101	61	40
3	4º	sul	94,76	240	240	213
4	4º	sul	94,76	91	72	106
4	5º	sul	94,76	143	178	173
3	6º	sul	94,76	144	106	123
4	7º	sul	94,76	187	287	420
4	9º	sul	94,76	234	272	154
4	11º	sul	94,76	148	184	246
4	13º	sul	94,76	117	78	105
3	16º	sul	94,76	266	211	232
4	17º	sul	94,76	160	146	157
4	18º	sul	94,76	176	323	353
Média				167	180	194
Desvio padrão				56	89	108
Coeficiente de variação				33%	50%	56%

Fonte: Elaborada pela autora.

O consumo médio da fachada Norte variou em 281 kWh a 344 kWh. Já a fachada sul, com área menor, a média de consumo variou de 167 kWh a 194kWh. Observa-se que o consumo de energia das unidades da fachada sul da edificação A. Conforme o Gráfico 6, o consumo de energia dos apartamentos da fachada norte da Edificação A apresenta levemente maiores picos nos pavimentos mais elevados

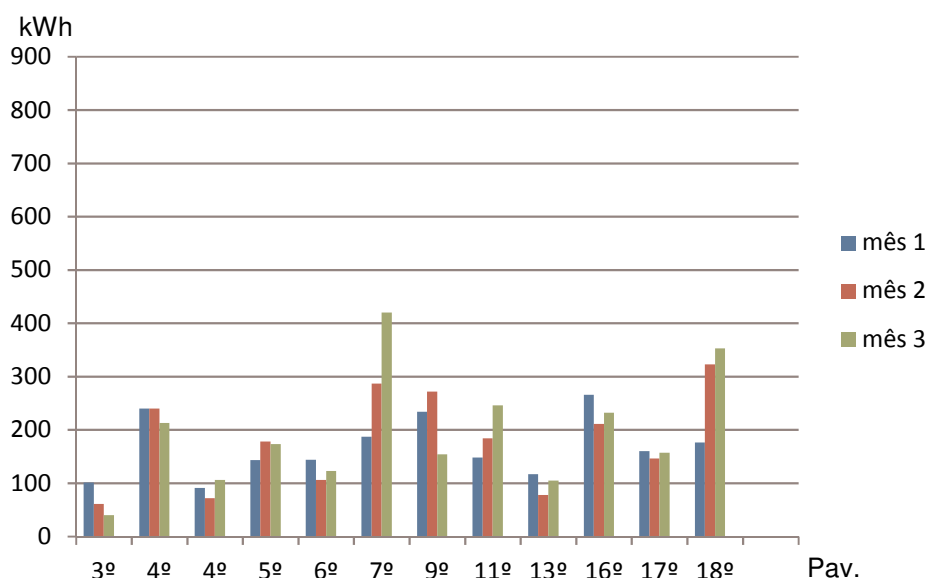
Gráfico 6 - Consumo mês fachada norte - edificação A



Fonte: Elaborada pela autora.

Observa-se que a comparação entre o consumo de energia dos apartamentos das duas orientações de fachadas apresentou resultado diferente do esperado. Considerando que a fachada sul, onde não há incidência solar e ser considerada zona crítica para localização dos ambientes de maior permanência principalmente no período do inverno era esperado maior consumo de energia por conta de aquecimento de ar, porém os apartamentos da fachada sul demonstram consumo menor que do que os da fachada norte.

Gráfico 7 - Consumo mês fachada sul - edificação A



Fonte: Elaborada pela autora.

Observa-se que para nível superior de desempenho térmico no período inverno atenda as conforto térmico do usuário em ambas as fachadas e que o consumo elétrico para climatização do ambiente seja semelhante, mas visto que a fachada sul tem área menor e somente dois dormitórios resulte em um consumo menor.

Outra hipótese prevista é o consumo de energia mais elevado nos últimos pavimentos, que também conforme Gráfico 6 e 7 não representou diferença significativa, mas apresentaram consumo acima da média para fachada Norte no 14º andar e fachada Sul nos 7º e 18º andares. Devido à falta de informações do perfil do usuário, não foi possível analisar porquê estas unidades se diferem das demais.

As análises realizadas na edificação B comparam-se à edificação A (Tabela 9), no que se refere ao comportamento do consumo por fachada. O consumo de energia das unidades da fachada Sul foi menor, comparado à fachada Norte, mas também deve ser considerado que as unidades na fachada Norte possuem maior área construída.

Tabela 9 - Variáveis construtivas e consumos mensais das unidades habitacionais edificação B - Fachada norte

Edificação B						
Apartament o final	andar	orientação solar	área (m²)	CONSUMO MENSAL abril/maio	CONSUMO MENSAL maio/junho	CONSUMO MENSAL junho/julho
1	2º	norte	125,38	327	352	365
1	4º	norte	125,38	419	296	247
1	5º	norte	125,38	486	434	428
1	6º	norte	125,38	221	221	203
1	7º	norte	125,38	260	274	204
1	9º	norte	125,38	705	875	827
1	10º	norte	125,38	215	241	205
1	12º	norte	125,38	141	161	150
1	13º	norte	125,38	696	451	401
1	16º	norte	125,38	161	200	172
1	17º	norte	125,38	158	271	233
Média				344	343	312
Desvio padrão				207	199	195
Coeficiente de variação				60%	58%	62%

Fonte: Elaborada pela autora.

A média de consumo para fachada Norte está na faixa de 312 kWh – 344 kWh e na fachada Sul, a faixa de consumo está entre 210kWh a 250kWh (Tabela 10). Observa-se que em média, a diferença entre mínima e máxima está aproximadamente em 32 kWh na fachada Norte e 40 kWh na fachada Sul, enquanto que na edificação A essa, diferença passa para 63 kWh na fachada Norte e 27 kWh na fachada Sul.

Tabela 10 - Variáveis construtivas e consumos mensais das unidades habitacionais edificação B - Fachada sul

Edificação B

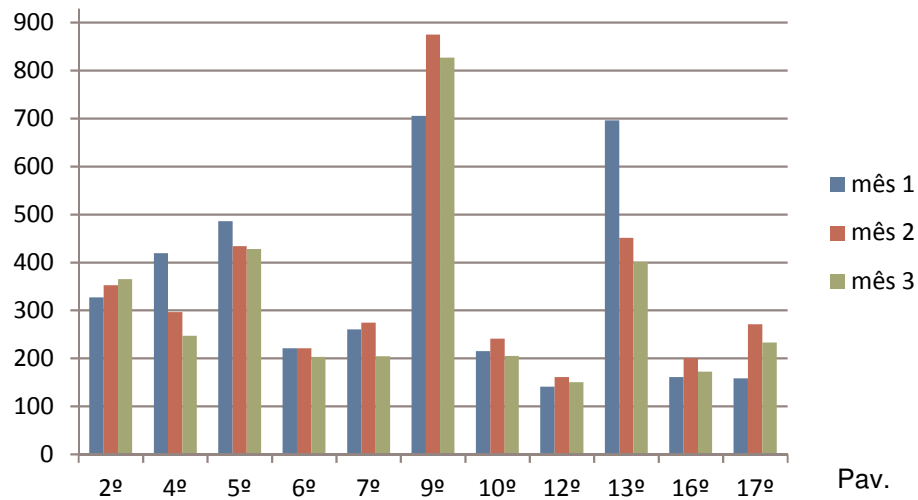
Apartament o final	andar	orientação solar	área (m ²)	CONSUMO MENSAL abril/maio	CONSUMO MENSAL maio/junho	CONSUMO MENSAL junho/julho
3	2º	sul	89,26	283	383	303
3	3º	sul	89,26	219	342	151
3	5º	sul	89,26	305	297	254
2	6º	sul	116,35	138	119	92
3	6º	sul	89,26	257	181	174
2	7º	sul	116,35	330	547	428
3	7º	sul	89,26	115	121	122
2	10º	sul	116,35	162	187	188
3	10º	sul	89,26	204	261	203
2	11º	sul	116,35	204	224	230
3	11º	sul	89,26	299	187	194
3	12º	sul	89,26	211	129	115
2	13º	sul	116,35	449	286	239
3	13º	sul	89,26	159	164	136
2	14º	sul	116,35	305	396	340
2	15º	sul	116,35	374	355	313
3	15º	sul	89,26	95	93	107
3	16º	sul	89,26	114	358	261
3	17º	sul	89,26	126	161	138
Média				229	252	210
Desvio padrão				98	121	90
Coeficiente de variação				43%	48%	43%

Fonte: Elaborada pela autora.

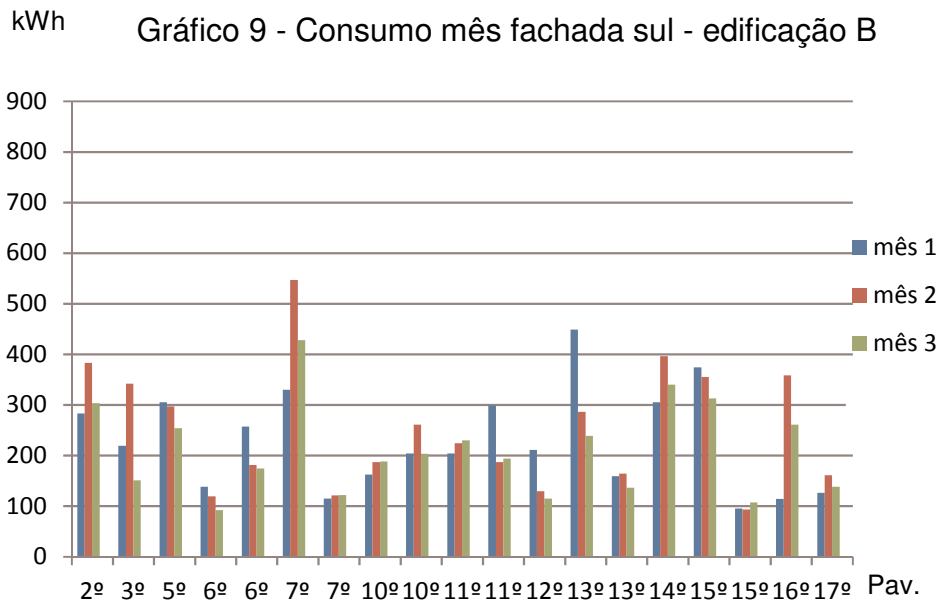
Conforme o Gráfico 8, o consumo de energia mensal na edificação B dos apartamentos com fachada Norte apresenta-se semelhante para todos os pavimentos, exceto 9º e 13º pavimentos com consumo alto comparado aos demais andares desta fachada. Devido à falta de informações de equipamentos e quantidade de moradores por unidade habitacional, não foi possível analisar esse consumo elevado.

Gráfico 8 - Consumo mês fachada norte - edificação B

kWh



Fonte: Elaborada pela autora.



Fonte: Elaborada pela autora.

Considerando que as edificações em estudo nesta pesquisa possuem perfil de usuário de classe média alta, observa-se que a posse de equipamentos resulta em um consumo mais elevado e pode ser bem maior do que nas residências com baixo

consumo. O comparativo de consumo mensal não ficou próximo aos resultados da pesquisa elaborada no Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE), visto que a pesquisa não realizou medição do consumo, somente levantamento do consumo por equipamento/mês, incluindo o uso de chuveiro elétrico que na pesquisa, correspondem na região sul consumo de 124 kWh no verão e 129 kWh no inverno, seguido dos maiores consumos, refrigerador, freezer, TV e ar condicionado.

Visto que as duas edificações em estudo não possuem chuveiro elétrico e que os aparelhos como refrigerado, freezer e TV provavelmente ficam em *stand by*, conclui-se que o equipamento de maior alteração no consumo devido ao acionamento é o ar condicionado. Por esse motivo Visto que as duas edificações em estudo não possuem chuveiro elétrico e que os aparelhos como refrigerado, freezer e TV provavelmente ficam em *stand by*, conclui-se que o equipamento de maior alteração no consumo devido ao acionamento é o ar condicionado. Por esse motivo foi avaliado o consumo de energia em relação à satisfação de conforto térmico do usuário devido ao desempenho térmico da edificação.

Observou-se que das 72 unidades da edificação A, foram medidos 31 apartamentos, representando 50% da amostra. Já a edificação B da amostra de 45 unidades foram medidos 29 apartamentos, representando 64% da amostra. Não foi realizada leitura de equipamentos analógicos e também referente à edificação A muitas unidades não estavam ocupadas, isto é, sem medidores.

A hipótese de que seria obtido um resultado diferenciado de consumo de energia em uma edificação que atende nível superior de desempenho térmico não se confirmou, pois não foram possíveis avaliar as variáveis como: número de pessoas por apartamento, números de equipamentos de ar condicionado, a potência dos equipamento, hábitos de uso do ar condicionado, como também a necessidade de uma amostragem e período maior de coleta dados para avaliar o consumo também no período do verão juntamente com as informações do perfil do usuário para que de forma mais precisa analisar a relação de desempenho térmico e o consumo de energia.

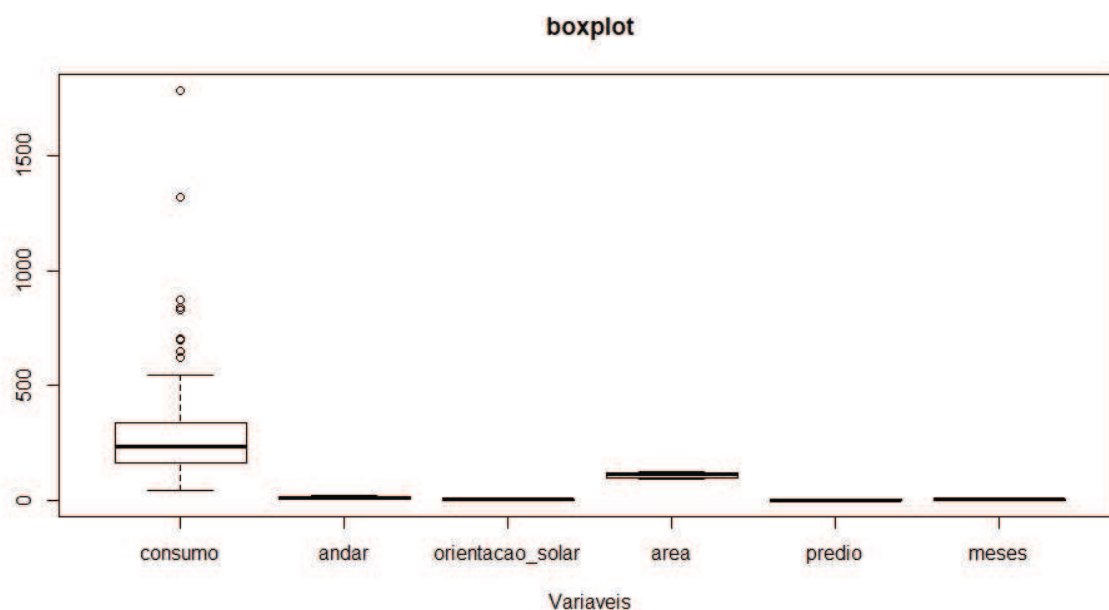
4.2.1 Tratamento dos dados método estatístico

As variáveis analisadas nesta pesquisa estão relacionadas às decisões de projeto, tais como: número de pavimentos, área construída, orientação solar e sistemas construtivos. Buscou-se analisar as mesmas variáveis que são consideradas no método de simulação computacional para avaliação do desempenho térmico. Estes dados foram analisados por meio da técnica de regressão linear, a fim de avaliar a relação do consumo de energia entre as edificações A e B.

As denominadas *variáveis dependentes* são: número de pavimento, área, orientação solar: Norte(1), Sul(2); sistema construtivo: edificação A(1), edificação B(2) e como *variável independente*, o consumo de energia em kWh.

O teste de normalidade das variáveis está apresentado no boxplot (Gráfico 10). Trata-se de, recurso que avalia a distribuição e valores discrepantes (outliers). São consideradas outliers quando estão abaixo ou acima do limite de detecção dos dados, fornecendo assim um meio complementar para desenvolver uma perspectiva sobre o caráter dos dados.

Observa-se no gráfico 10 dispersão dos dados somente na variável consumo devido aos picos de consumo elevado em algumas unidades. Referem-se aos consumos nas duas unidades da edificação A, no 3º pavimento e 9º pavimento acima de 1000 kWh, algumas amostras acima de 500 kWh. Aproximadamente 50% das amostras estão dentro da normalidade, representando consumo médio de 250 kWh. As demais variáveis não sofrem alterações, pois são variáveis fixas, isto é sem oscilações.

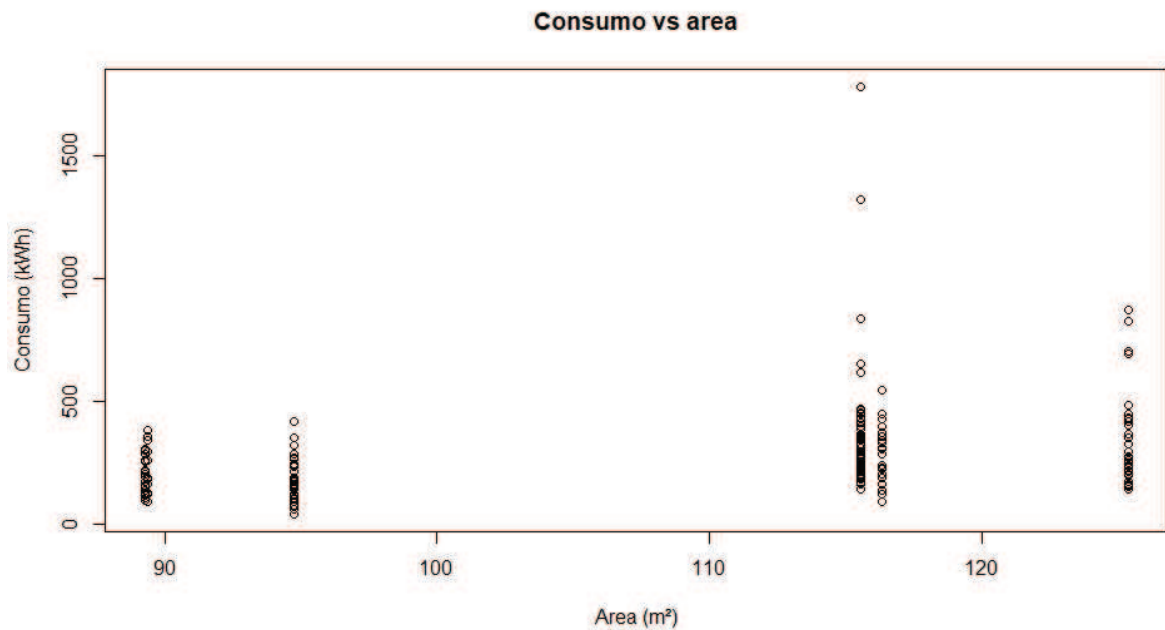


Fonte: Elaborada pela autora.

A seguir, o Gráfico 11 apresenta o consumo de energia de diferentes áreas construídas, considerando que a edificação A possui área de 94m² e 115 m² e consumo inferior a 500kWh (exceto algumas unidades com área de 115m² que apresentaram consumo elevado). Já a edificação B, com área de 89 m² possui mesmo comportamento da edificação A. As unidades com 116 e 125m² não apresentaram consumo superior a 1000 kWh.

Esta análise pode estar diretamente relacionada aos hábitos, aquisições de equipamentos e alterações (reformas) do usuário. Portanto este gráfico representa de forma direta a relação do consumo, onde, quanto maior área construída, maior a probabilidade do consumo de energia elevado.

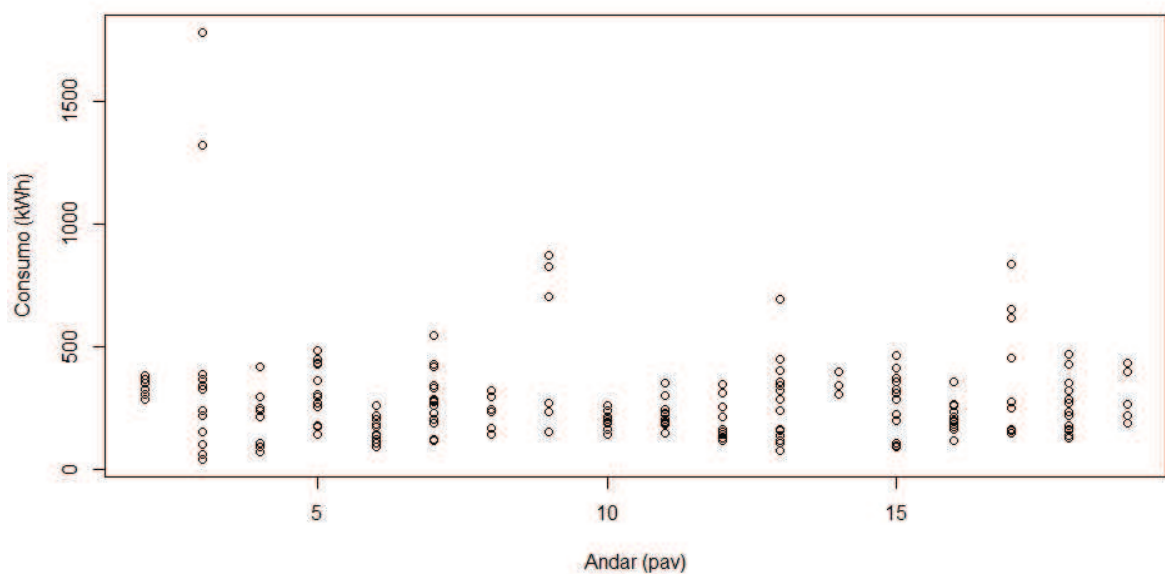
Gráfico 11– Relação do consumo de energia com a área das unidades habitacionais



Fonte: Elaborada pela autora.

Já a relação entre o consumo de energia e nível do pavimento apresentou resultados semelhantes (Gráfico 12) para diferentes níveis, não sendo possível concluir que esta variável seja determinante para análise de consumo de energia. Seriam necessárias mais amostras para que seja descartada essa hipótese.

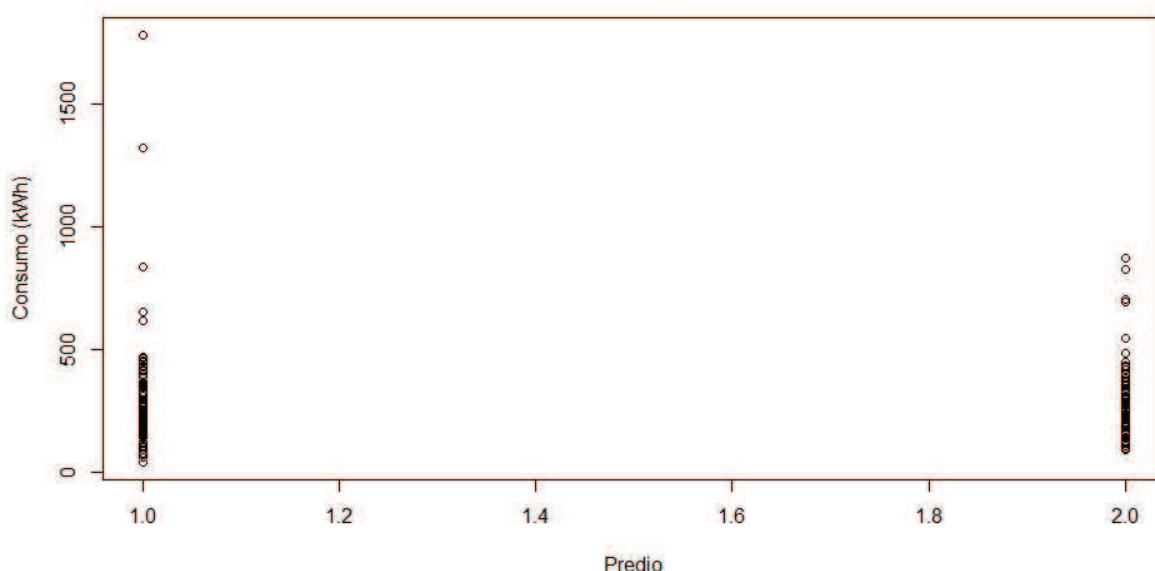
Gráfico 12- Relação do consumo de energia com o pavimento



Fonte: Elaborada pela autora.

O resultado referente ao sistema construtivo, onde a edificação A – prédio 1 representa nível superior de desempenho térmico e a edificação B – prédio 2 nível mínimo de desempenho térmico, a análise de regressão linear mostrou que a edificação A consome mais energia que a edificação B (Gráfico 13), mas não foram analisados fatores que geram este consumo, tais como: equipamento e hábitos do usuários, como já foi citado anteriormente. A análise de regressão fica limitada somente à comparação entre edificações já ocupadas, visto que o desempenho térmico é analisado com a edificação antes da ocupação, isto é, sem reformas ou alterações.

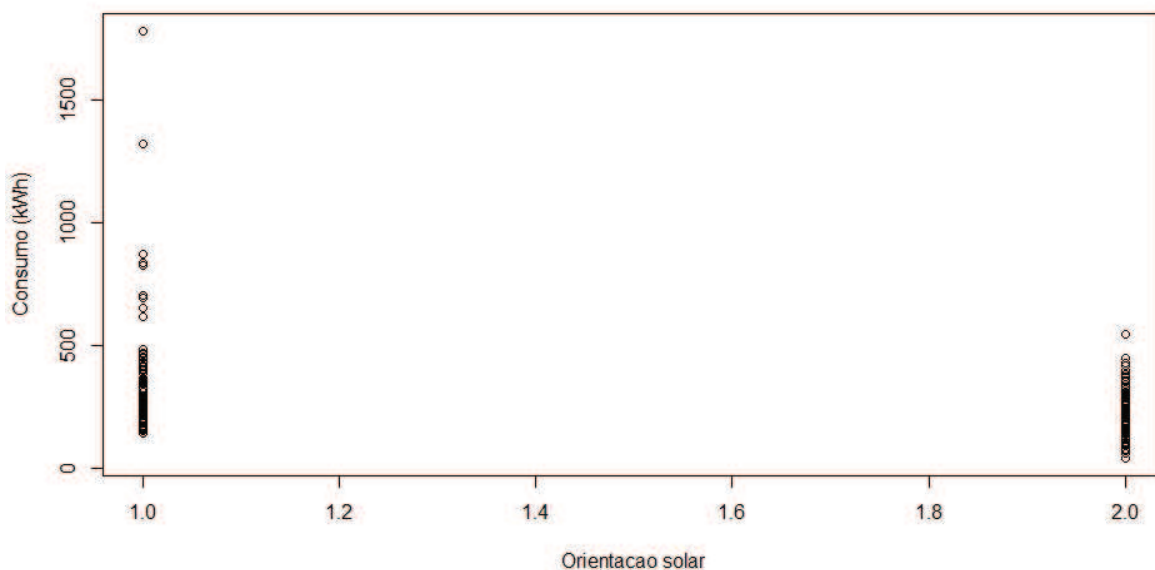
Gráfico 13 - Relação do consumo de energia com o sistema construtivo



Fonte: Elaborada pela autora.

Quando analisado a variável orientação solar, os resultados são curiosos, pois as medições de energia foram realizadas no período de inverno e o menor consumo esta na fachada sul (Gráfico14). Mas deve ser considerado que ambas edificações a fachada sul apresenta área menor, o que pode ter relação com menor consumo como ocorre na relação de consumo vs área.

Gráfico 14 - Relação do consumo de energia com a orientação solar da fachada



Fonte: Elaborada pela autora.

Os resultados da análise de regressão (Tabela 11) mostram hipótese nula na relação da variável independente (consumo de energia) e as variáveis independentes. Com nível de significância $\alpha = 0,05$, os resultados para o teste t, obteve valor = $1.338e-05$, demonstra que em conjunto, as variáveis testadas explicam 13% da variável independente.

Para que fosse possível concluir esta análise, seria importante obter maior número de amostras, em um longo período e outras variáveis que pudessem justificar o consumo de energia.

Tabela 11 - Resultados da análise de regressão

	Estimate Std	Error	t value	Pr(> t)
Andar	-3.627	2.692	-1.347	0.1796
Orientação solar	-87.090	51.128	-1.703	0.0903
Área	2.514	1.829	1.374	0.1711
Prédio	-8.646	30.937	-0.279	0.7802

Multiple R-squared: 0.1557, Adjusted R-squared: 0.1319
F-statistic: 6.53 on 5 and 177 DF, **p-value: 1.338e-05**

Fonte: Elaborada pela autora.

Não é possível afirmar que as características diferentes em termos de sistemas construtivos para atendimento do nível superior da Norma de Desempenho sejam suficientes para influenciar o consumo de energia nos apartamentos em comparação a edificação B com nível de desempenho térmico mínimo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento deste trabalho buscou analisar edificação residencial vertical classificada no nível superior NBR 15.575: 2013 na fase de projeto e execução, avaliando desempenho térmico e fatores que influenciam de consumo de energia. Como principais objetivos o trabalho se propôs a avaliar o desempenho térmico dos sistemas construtivos, analisar consumo de energia de diferentes edificações e investigar as variáveis que influenciam o consumo de energia das unidades habitacionais e estabelecer relação do desempenho térmico e consumos de energia.

A edificação A, classificada nível superior, foi composta por sistema de vedação que apresentam transmitância térmica menor, isto é, baixa perda de calor, devido à composição do sistema com isolamento com câmara de ar e demais materiais que resultaram em temperaturas internas inferior a 4 °C no período do verão e superior a 7°C no período do inverno. Segundo Graf(2011) quando há baixa perda de calor pode resultar em uma quantidade menor de energia para climatização dos ambientes comparada a outra edificação que não possui estas características.

A edificação B, os resultados obtidos foram satisfatórios para desempenho térmico para período do inverno resultando nível superior em alguns ambientes, mas o mesmo não ocorreu para o período do verão, onde apresentou nível mínimo de desempenho térmico, classificando assim a edificação B nível mínimo, conforme Norma. Comparar duas edificações com níveis de desempenho extremos tornou a pesquisa desafiadora por considera à hipótese de desempenho térmico nível superior, menor consumo de energia.

A edificação foi analisada quanto ao seu desempenho quando a edificação está desocupada, não avaliando os aspectos de ganhos térmicos devido às reformas internas e melhorias na unidade habitacional. Estas questões podem gerar alteração nos resultados do consumo, pois à medida que mudanças, tais como iluminação, piso, móveis, cortinas que possam proporcionar maior conforto ao usuário, mas ao mesmo tempo gerar consumo elevado de energia devido à característica do material utilizado que possa interferir no desempenho térmico da edificação.

Considerar as características do usuário, assim como hábitos e costumes e a relação do usuário com a edificação são importantes para avaliar o conforto deste

usuário. Contudo, desta pesquisa não foi possível avaliar estas questões e as análises foram realizadas quanto ao sistema construtivo de dois prédios e consumo de energia.

Na segunda fase da pesquisa foi realizada a análise de consumo de energia baseado em leituras do consumo das unidades habitacionais no período de três meses, onde foram investigadas as variáveis: orientação solar, andar do pavimento e sistema construtivo. Estes dados foram tratados pelo método estatístico de regressão linear e analisados em comparação com o consumo de energia. Os resultados demonstraram que não há relação com as variáveis em estudo, necessitando período maior de análise e inclusão de outras variáveis.

A análise mostrou consumo diferenciado em relação às fachadas, mas isso ocorre em paralelo às áreas construídas dos apartamentos. Os apartamentos da fachada Sul, em ambas as edificações, apresentaram menor consumo, mas correspondem à menor área, isto é, um dormitório a menos do que os demais, e consequentemente menos um equipamento de ar e demais eletroelétricos.

Para trabalhos futuros sugere-se:

- Analisar outras edificações da mesma região com diferentes sistemas construtivos;
- Investigar por meio de pesquisa os hábitos, costumes e equipamentos utilizados pelo usuário;
- Realizar leitura do consumo de energia em um longo período.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575-1:** Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013a.

_____. **NBR 15575-4:** Edificações habitacionais — Desempenho Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013b.

_____. **NBR 15575-5:** Edificações habitacionais — Desempenho Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220-2:** Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. **NBR 15220-3:** Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005b.

ALMEIDA, Ygor Feitas de; REINALDO, Raydel Lorenzo; SILVA, Liliane Flávia Guimarães da. Análise de desempenho térmico de edificações: um estudo de caso na cidade de Palmas, TO. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. ENTAC 2016:Desafios e perspectivas da internacionalização da construção. São Paulo: Associação nacional de tecnologia no ambiente construído (ANTAC), 2016. Disponível em:< http://www.infohab.org.br/entac/2016/ENTAC2016_paper_373.pdf>. Acesso em 18 jun. 2017.

KRAI, Bianca de Andrade. **Análise da adequação de edifício residencial aos requisitos da ABNT NBR 15575:2013 – Edificações Habitacionais – Desempenho. 2016. 120 f.** Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2016. Disponível em: Acesso em 27 fev. 2018.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME); EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço energético nacional 2017:** ano base 2016. Brasília, DF: MME; Rio de Janeiro: EPE, 2017. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1143895/2.1+-+BEN+2017+-+Documento+Completo+em+Portugu%C3%AAs+-+Ingl%C3%AAs+%28PDF%29/22602d8c-a366-4d16-a15f-f29933e816ff?version=1.3>>. Acesso em: 15 jan. 2017.

BRASILEIRO, Alice; MORGADO, Claudio; ALMEIDA, Tatiane. Elementos projetuais para elevação da classificação do nível de eficiência energética em conjuntos habitacionais do PMCMV no Rio de Janeiro. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. ENTAC 2016:Desafios e perspectivas da internacionalização da construção. São Paulo: Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (ANTAC), 2016.

Disponível em:< http://www.infohab.org.br/entac/2016/ENTAC2016_paper_315.pdf>. Acesso em 18 jun. 2017.

BRITO, A.C. **Contribuição da inércia térmica na eficiência energética de edifícios de escritórios na cidade de São Paulo**. 2015. 241 f. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses> >. Acesso em 17 ago. 2017.

CECHINEL, Rodrigo J.; HACKENBERG, Ana M.; TONDO, Gabriela H. Desempenho térmico em habitações de interesse social inseridas na cidade de Joinville e recomendações para melhoria dos parâmetros mínimos construtivos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. ENTAC 2016:Desafios e perspectivas da internacionalização da construção. São Paulo: Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (ANTAC), 2016. Disponível em:< http://www.infohab.org.br/entac/2016/ENTAC2016_paper_122.pdf>. Acesso em 18 jun. 2017.

CHVATAL, Karin M. S.; RORIZ, Victor F. **Avaliação do desempenho térmico de habitações segundo a ABNT NBR 15575**. Avaliação de Desempenho de Tecnologias Construtivas Inovadoras. Porto Alegre, 2015. Livro eletrônico.

CONCEIÇÃO, Jéssica; LEITE, Regina M. C. Avaliação da aplicabilidade da NBR 15575 (2013) quanto ao desempenho térmico: um estudo de caso em Salvador – Bahia. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. ENTAC 2016:Desafios e perspectivas da internacionalização da construção. São Paulo: Associação nacional de tecnologia no ambiente construído (ANTAC), 2016. Disponível em:< http://infohab.org.br/entac/2016/ENTAC2016_paper_287.pdf>. Acesso em 29 jun. 2017.

COSTA, V. A. C. DA; CHVATAL, K. M. S. **Manual do Pré-Processador Slab**. São Paulo: Instituto de Arquitetura e Urbanismo (IAU/USP-SC), 2017.

DIDONÉ, Katia Rosa; MILANI, Ana Paula da Silva; BERTOCINI, Sandra Regina. Desempenho térmico por meio de medições in loco de edificações construídas em paredes de concreto na zona bioclimática 6 e 8. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. ENTAC 2016:Desafios e perspectivas da internacionalização da construção. São Paulo: Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (ANTAC), 2016. Disponível em:< http://www.infohab.org.br/entac/2016/ENTAC2016_paper_204.pdf>. Acesso em 18 jun. 2017.

do desempenho energético de edificações. Florianópolis: LabEEE, 2015.

FEDRIGO, Natália S.; GHISI, Enedir; LAMBERTS, Roberto. Usos finais de energia elétrica no setor residencial brasileiro. In: ENCONTRO NACIONAL e ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 2009, Natal. Anais eletrônicos... Natal, 2009. Disponível em:<

http://www.infohab.org.br/encac/files/2009/ENCAC09_1076_1085.pdf>. Acesso em 20 jun. 2017.

FREITAS, Ygor; LORENZO, Raydel. Análise de desempenho de edificações: um estudo de caso na cidade de Palmas-TO. **Revista Desafios**, Palmas, v. 3, n 2. 2016. Disponível em: < file:///C:/Users/User/Downloads/1705-193-15397-2-10-20161122.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2017.

FRONTCAZAK, Monika; WARGOCKI, Pawel. Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments. **Building and Environment**, v. 46, Issue 4. 2011, Pages 922-937.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S.R. Manual de conforto térmico: Arquitetura, urbanismo. 5 ed. São Paulo: Studio Nobel , 2001.

GRAF, Helena Fernanda. **Transmitância térmica & energia incorporada na arquitetura nas superfícies do invólucro de uma edificação residencial unifamiliar conforme a Norma NBR 12**. 2011. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011. Disponível em: Acesso em 27 fev. 2018.

HANSEN, Alice Maria Dreher. **Padrões de consumo de energia elétrica em diferentes tipologias de edificações residenciais, em Porto Alegre**. 2000. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000. Disponível em: Acesso em 10 ago. 2017.

HOPFE, C. J. **Uncertainty and sensitivity analysis in building performance simulation for decision support and design optimization**. 2009. 215 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)-Faculdade de Arquitetura, Construção e planejamento, Universidade de Tecnologia de Eindhoven, Holanda, 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Conforto térmico humano**. Brasília, DF, [2018a]. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/confortoTermicoHumano>>. Acesso em: 01 jun. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Estações automáticas**. Brasília, DF, [2018b]. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. Acesso em: 01 jun. 2018.

KERN, A. P.; SILVA, A.; KAZMIERCZAK, C. S. O processo de implantação de normas de desempenho na construção: um comparativo entre a Espanha (CTE) e Brasil (NBR 15575/2013). **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Paulo, v. 9, n. 1, LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (LABEEE)-laboratório. **Etiquetagem**. Santa Catarina, 2017. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/antigo/eletrobras/etiquetagem/edificios_residencias.php>. Acesso em: 15 jan. 2017.

LAMBERTS, et al.. **Casa eficiente: Bioclimatologia e desempenho térmico**. v1. Florianópolis: LabEEE, 2010.

LAMBERTS, Roberto. **Desempenho térmico de edificações**. Santa Catarina, [2018?]. Disponível em: < <http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Aula-Conforto%20termico.pdp>>. Acesso em: 12 jun. 2017.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. Santa Catarina: LabEEE, 2004). Livro eletrônico.

LORENZI, Luciani Somensi. **Análise crítica e proposições de avanço nas metodologias de ensaios experimentais de desempenho à luz da ABNT NBR 15575 (2013) para edificações habitacionais de interesse social térreas**. 2013. 222 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. Disponível em: < <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/96630/000917270.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em 20 jun. 2017.

LOUREIRO, Kelly Cristina Gonçalves. **Análise de desempenho térmico e consumo de energia de residências na cidades de Manaus**. 2003. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) –Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. Disponível em:< <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/85415/206708.pdf?sequence=1>> Acesso em 27 maio. 2017.

MARCOS, Micheline Helen Cot. **Análise da emissão de CO₂ na fase pré-operacional da construção de habitações de interesse social através da utilização de uma ferramenta CAD-BIM**. 2009. 130 f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009. Disponível em: Acesso em 15 fev. 2018.

MARQUES, Augusto Martins. **Desempenho térmico de edificações unifamiliares de interesse social: estudo de casos em Ibituba**. 2008. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. Disponível em: Acesso em 10 jun. 2017.

MARQUES, Augusto Martins. PIRES, Josiane Reschke. **Desempenho térmico de edificações unifamiliares de interesse social: estudo de casos em Ibituba – SC**. 2008. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

MATTOS, Thomaz Lourenço de. **Análise do desempenho térmico de habitações populares da microrregião de Guaratinguetá – SP**. 2015. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2015. Disponível em: Acesso em 12 jan. 2017.

MELO, Ana Paula; WESTPHAL, Fernando Simon; Matos, Michele. **Apostila do curso básico do programa EnergyPlus**. Florianópolis: LabEEE, 2009.

MORISHITA, Claudia **Impacto do regulamento para eficiência energética em edificações no consumo de energia elétrica do setor residencial brasileiro**. 2011.232 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011. Disponível em: Acesso em 18 jan. 2017.

MORRISSEY, J; HORNE, R.E. Life cycle cost implications of energy efficiency measures in new residential buildings. **Building and Environment**, v. 43, Issue 4. 2011, Pages 915-924

OKAMOTO, P. S.; MELHADO; S. B. A norma brasileira de desempenho e o processo de projeto de empreendimentos residenciais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., 2014, Maceió. ENTAC 2014. Desafios e perspectivas da internacionalização da construção. Maceió: Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (ANTAC), 2014. Disponível em:< http://www.infohab.org.br/entac2014/artigos/paper_244.pdf>. Acesso em 20 jun. 2018.

ORDENES, Martín; PEDRINI, Aldomar; GHISI, Enedir; LAMBERTS, Roberto. **Metodologia utilizada na elaboração da biblioteca de materiais e componentes construtivos brasileiros para simulações no visualdoe-3.1**. Florianópolis: LabEEE, 2003. Livro eletrônico.

p. 89-101, jan./jun. 2014.

PIRES, Josiane Reschke. **Investigação da viabilidade da redução do consumo de energia elétrica em edificações residenciais através da aplicação de soluções de conforto ambiental passivo**. 2013. 228 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2013. Disponível em: Acesso em 25 out. 2016.

POUEY, JULIANA Al-Alam. **Projeto de edificação residencial unifamiliar para zona bioclimática 2 com avaliação termo energética por simulação computacional**. 2011. 137 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2011. Disponível em: Acesso em 18 out. 2017.

PROCEL. **Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil - Ano base 2005 - Classe residencial - Relatório Sul**. Disponível em:< <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B5A08CAF0%2D06D1%2D4FFE%2DB335%2D95D83F8DFB98%7D&Team=¶ms=itemID=%7B61AB1CD8%2D98AA%2D4D67%2DA7F0%2D16431DA0F730%7D%3B&UIPartUID=%7B05734935%2D6950%2D4E3F%2DA182%2D629352E9EB18%7D>>. Acesso em: 16 jun.2018.

ROCHA, Antonio et al. Avaliação do desempenho térmico de fachada com painéis leves em edificação de múltiplos pavimentos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. ENTAC 2016: Desafios e perspectivas da internacionalização da construção. São Paulo: Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (ANTAC), 2016. Disponível em:< http://www.infohab.org.br/entac/2016/ENTAC2016_paper_3.pdf>. Acesso em 18 jun. 2017.

Rodriguez-Ubinasa et al. Passive design strategies and performance of Net Energy Plus Houses. **Revista Energy and Buildings** n 83. 2014. p. 10–22. Disponível em: <file:///C:/Users/User/Downloads/1705-193-15397-2-10-20161122.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2018.

Rodriguez-Ubinasa et al. Passive design strategies and performance of Net Energy Plus Houses. **Revista Energy and Buildings** n 83. 2014. p. 10–22. Disponível em: <file:///C:/Users/User/Downloads/1705-193-15397-2-10-20161122.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2018.

SANTO, A. D.; ALVAREZ, C. E.; NICO-RODRIGUES, E. A. **Conforto e desempenho**

SHELLER,Camila; MELO, Ana Paula Melo; SORGATO, Márcio; LAMBERTS, Roberto. **Análise de arquivos climáticos para a simulação**

SIQUEIRA, T. et al. Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações. **Revista Escola de Minas**, v. 58, n. 2, p. 133–138, 2005.

SIQUEIRA, Tulio Cesar Pessotto Alves; AKUTSU, Maria; LOPES, Jarbas Ibraim Esperidião and SOUZA, Henor Artur de. Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações. **Revista Escola de Minas**, v. 58, n. 2, p. 133–138, 2005.

SOUZA, Jonas Leonardo Pessanha de. **Desafio na implantação do nível superior da norma de desempenho em edificação residencial em Novo Hamburgo/RS**. 2016. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do rio dos Sinos, São Leopoldo, 2016. Disponível em: Acesso em 15 jan. 2017.

térmico em contradição na NBR 15575.Rio de Janeiro, RJ, [2016] Cadernos PROARQ, v. 20, p. 116-136. Disponível em: <http://cadernos.proarq.fau.ufrj.br/pt/paginas/edicao/20.> Acesso em 10/03/2018.

THORMARK, Catarina. A low energy building in a life cycle-its embodied energy, energy need for operation and recycling potential. **Building and Environment**. 37, p.429 – 435, 2012.

APÊNDICE A – PESQUISA CONSUMO DE ENERGIA DA EDIFICAÇÃO

Consumo de energia da edificação	
Consumo de energia da edificação Prezado Sr. / Sra, Obrigado pela sua visita ao site. Obrigada pela sua disponibilidade em responder esse breve questionário. Eu, Eng^a Ana Cláudia Lemos Ramão, aluna do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Unisinos, estou realizando a Dissertação de Mestrado sobre desempenho térmico das edificações e consumo de energia em unidades habitacionais, e nossa intenção é investigar, utilizando análise estatística, variáveis que influenciam o consumo de energia elétrica em diferentes épocas do ano, considerando diferentes cenários (número de pessoas, equipamentos elétricos, e características construtivas dos edifícios). Para tanto, contamos com sua valiosa contribuição no sentido de nos facilitar o acesso a dados sobre consumo de energia e outras informações pertinentes. Cabe ressaltar que trata-se de trabalho científico e nos comprometemos a manter sigilo sobre participantes e consumos individuais (as análises serão feitas de forma conjunta). Me coloco à disposição para qualquer esclarecimento, Ana Ramão 1. Qual nome do residencial e número do apartamento? Instruções da pergunta: <i>nome do edifício e Número do apartamento</i> 2. Número de moradores? Instruções da pergunta: <i>quantos moradores existem no apartamento?</i>	
 Pesquisas on-line para grátis – www.survio.com 1	

Consumo de energia da edificação

3. Número do código do cliente RGE

Instruções da pergunta: Esta informação é confidencial e sigilosa, somente para obtenção dos dados de consumo anual de energia.

4. Possui ar condicionado?

- ☐ Sim
☐ Não

5. Quantos aparelhos possui em casa e qual potência ?

Instruções da pergunta: marcar quantos ar condicionados existem de cada aparelho. Caso não possua nenhum ar condicionado das potências mencionadas marque "zero 0"

	0	1	2	3	4
9.000Btus	☐	☐	☐	☐	☐
12.000Btus	☐	☐	☐	☐	☐
18.000Btus	☐	☐	☐	☐	☐

6. Aciona o ar condicionado em qual situação?

Instruções da pergunta: o ar condicionado é ligado na residência em qual situação?

- ☐ Inverno
☐ Verão
☐ Por hábito

Consumo de energia da edificação

7. Qual ambiente do apartamento sente-se mais confortável sem o uso do ar condicionado?

Instruções da pergunta: dormitório 1, corresponde ao dormitório menor. Caso sejam duas suítes, suíte menor corresponde a dormitório 1.

- ☐ Sala de estar
- ☐ Suíte
- ☐ Dormitório 1 (dormitório menor ou suíte com menor área)
- ☐ Dormitório 2
- ☐ Nenhum

8. Qual ambiente do apartamento sente-se mais desconfortável sem o uso do ar condicionado?

Instruções da pergunta: dormitório 1, corresponde ao dormitório menor. Caso sejam duas suítes, suíte menor corresponde a dormitório 1.

- ☐ Sala de estar
- ☐ Suíte
- ☐ Dormitório 1 (dormitório menor ou suíte com menor área)
- ☐ Dormitório 2
- ☐ Nenhum

9. Qual tipo de chuveiro possui?

- ☐ Elétrico
- ☐ Água

Consumo de energia da edificação

10. QUAL CONSUMO DE ENERGIA MENSAL NOS PERÍODOS ABAIXO.

Instruções da pergunta: Verificar na conta de energia o consumo em kWh/mês. Lembrando que as contas, por exemplo, com vencimento em julho corresponde consumo de junho, portanto este consumo no mês de junho.

	ATE 100 Kwh	101 a 200 kW/h	201 a 300 kW/h	301 a 400 kW/h	400 a 500kW/h	acima 500kW/h
JUNHO/16	☐	☐	☐	☐	☐	☐
JULHO/16	☐	☐	☐	☐	☐	☐
AGOSTO/16	☐	☐	☐	☐	☐	☐
DEZEMBRO/16	☐	☐	☐	☐	☐	☐
JANEIRO/17	☐	☐	☐	☐	☐	☐
FEVEREIRO/17	☐	☐	☐	☐	☐	☐

11. Como se sente em relação ao desempenho térmico na residência?

- ☐ Muito satisfeito
☐ Satisfeito
☐ Razoavelmente satisfeito
☐ Indiferente
☐ Insatisfeito

ANEXO A – REQUISITOS PAREDES EXTERNAS E ISOLAÇÃO TÉRMICA DA COBERTURA

Valores máximos admissíveis para transmitância térmica das paredes externas

Transmitância térmica U W/m ² .K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3,4,5,6,7 e 8	
U ≤ 2,5	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a > 0,6$
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5
^a α é a absorptância à radiação solar à superfície externa da parede.		

Fonte: ABNT (2013b, p. 27)

Capacidade térmica de paredes externas

Capacidade térmica (CT) kJ/m ² .K	
Zonas 1, 2,3,4,5,6 e 7	Zonas 8
≥130	Sem requisito

Fonte: ABNT (2013b, p. 27).

Critérios de coberturas quanto à transmitância térmica - M

Transmitância térmica U W/m ² .K				
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas e 8	
U ≤ 2,30	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a > 0,6$	$\alpha^a \leq 0,4$	$\alpha^a > 0,4$
	U ≤ 2,3	U ≤ 1,5	U ≤ 2,3 FT	U ≤ 1,5 FT
α é absorptância à radiação solar da superfície externa da cobertura.				
NOTA O fator de correção de transmitância (FT) é estabelecido na ABNT NBR 15220-3.				

Fonte: ABNT (2013c, p. 27).

Área mínima de ventilação e dormitórios e sala de estar

Nível de desempenho	Abertura para ventilação (A)	
	Zona 1 a 7 Abertura médias	Zona 8 Aberturas grandes
Mínimo	$A \geq 7\%$ da área do piso	$A \geq 12\%$ da área do piso - região do norte do Brasil $A \geq 8\%$ da área de piso – região nordeste e sudeste do Brasil
NOTA Nas zonas de 1 a 6, as áreas de ventilação devem ser passíveis de serem vedadas durante o período de frio.		

Fonte: ABNT (2013, p. 28).

ANEXO B – CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO

Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

(por simulação)

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
Insuficiente	$T_{i,max} > T_{e,max}$	$T_{i,max} > T_{e,max}$
Mínimo	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
Intermediário	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2 \text{ }^{\circ}\text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 1 \text{ }^{\circ}\text{C})$
Superior	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4 \text{ }^{\circ}\text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2 \text{ }^{\circ}\text{C})$

Fonte: adaptada de ABNT (2013).

$T_{i,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{e,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação ($^{\circ}\text{C}$)

Fonte: Chvatal e Roriz (2012, p.50).

Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno

(por simulação)

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 5	Zonas 6, 7 e 8
Insuficiente	$T_{i,min} < (T_{e,min} + 3 \text{ }^{\circ}\text{C})$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado.
Mínimo	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3 \text{ }^{\circ}\text{C})$	
Intermediário	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 5 \text{ }^{\circ}\text{C})$	
Superior	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 7 \text{ }^{\circ}\text{C})$	

Fonte: adaptada de ABNT (2013).

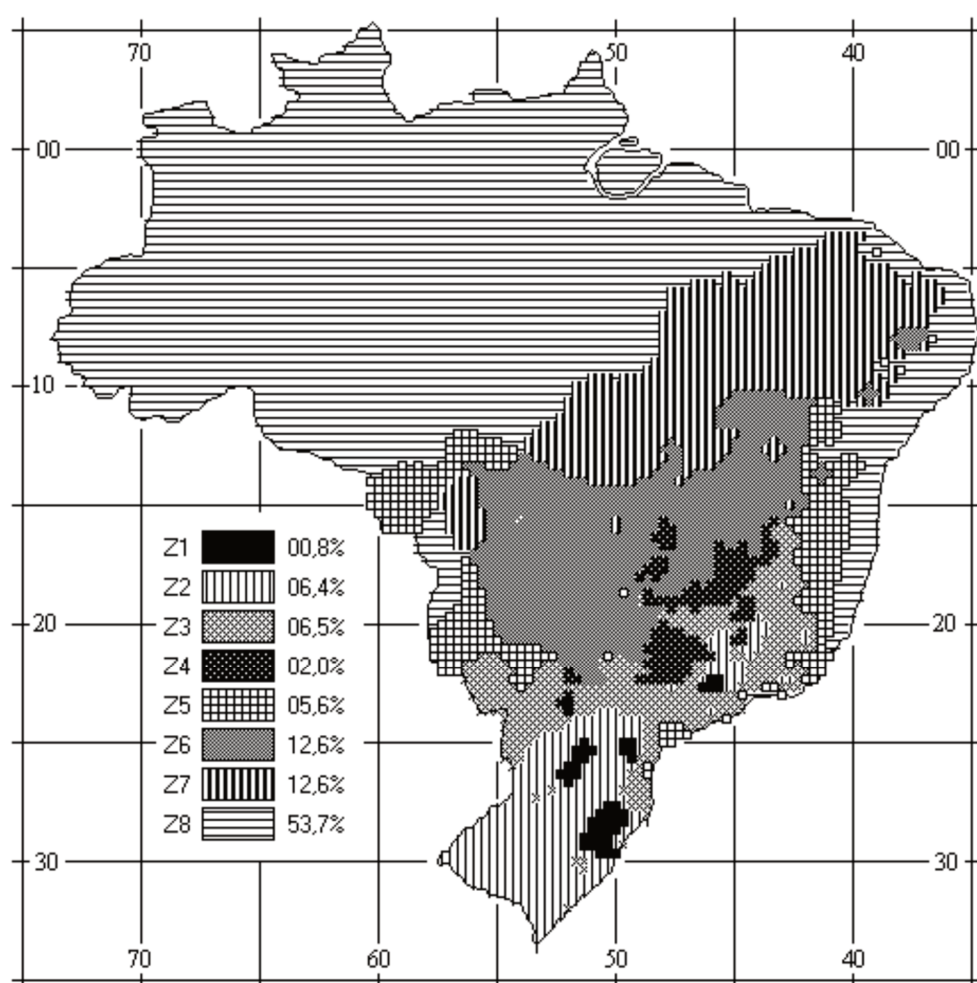
$T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação ($^{\circ}\text{C}$)

Fonte: Chvatal e Roriz (2012, p.50).

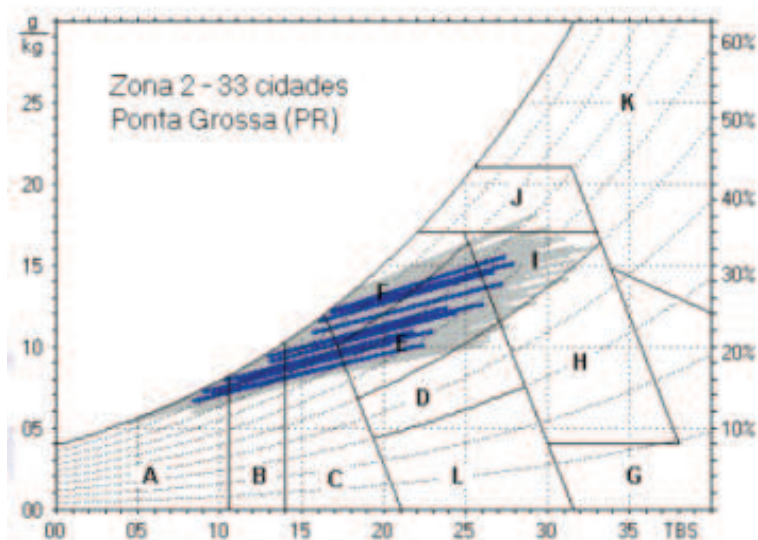
ANEXO C – REGIÕES BIOCLIMÁTICAS

Mapa das zonas climáticas brasileiras



Fonte: ABNT (2005, p.3).

Carta bioclimática zona 2



Fonte: NBR (2005, p.4).

Estratégias de condicionamento térmico passivo para zona bioclimática 2

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	J) Ventilação cruzada
Inverno	B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica) NOTA O condicionamento passivo será insuficiente durante o período mais frio do ano. Os códigos J, B, C são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o zoneamento bioclimático do Brasil

As zonas da carta correspondem as seguintes estratégias:

B – zona de aquecimento solar da edificação

C – zona de massa térmica para aquecimento

I + J – zona de ventilação

ANEXO D - PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

Tabela 3. Propriedades dos materiais considerados nas paredes que formam a biblioteca do VisualDOE.

Nome do material	Espessura equivalente (cm)	Condutividade térmica (W/mK)	Densidade equivalente (kg/m ³)	Calor específico (kJ/kg K)	Resistência térmica (m ² K/W)
Argamassa de Emboço (2,5 cm)	2,5	1,15	2000	1,00	0,022
Câmara de ar (2 - 5 cm)	-	-	-	-	0,160
Concreto maciço (5 cm)	5,0	1,75	2400	1,00	0,029
Ceram Tijolo Maciço Aparente (10 cm)	9,0	0,90	1800	0,92	0,100
Concreto maciço (10 cm)	10,0	1,75	2400	1,00	0,057
Ceram Tij 6 fur quad (9 cm)	1,4	0,90	2290	0,92	0,016
Ceram Tij 8 fur quad (9 cm)	1,4	0,90	2252	0,92	0,016
Ceram Tij 8 fur circ (10 cm)	3,3	0,90	1103	0,92	0,037
Ceram Tij 6 fur circ (10 cm)	3,0	0,90	1232	0,92	0,033
Ceram Tij 4 fur circ (9,5 cm)	1,3	0,90	3595	0,92	0,014
Ceram Bloc 3 fur quad (13 cm)	1,7	0,90	2941	0,92	0,019
Tijolo Maciço (10 cm)	9,6	0,90	1764	0,92	0,106
Ceram Bloc 2 fur quad (14 cm)	1,5	0,90	3732	0,92	0,017
Ceram Tij 2 fur circ (12,5 cm)	1,7	0,90	3836	0,92	0,019
Ceram Tij 6 fur quad (14 cm)	5,5	0,90	909	0,92	0,061
Ceram Tij 21 fur circ (12 cm)	2,7	0,90	2556	0,92	0,030
Ceram Tij 6 fur circ (15 cm)	6,6	0,90	840	0,92	0,073
Ceram Tij 8 fur quad (19 cm)	8,2	0,90	868	0,92	0,091
Ceram Tij 8 fur circ (20 cm)	11,1	0,90	646	0,92	0,123
Ceram Tij Duplo 6 fur circ (10 cm)	12,8	0,90	628	0,92	0,142
Tijolo Maciço Duplo (10 cm)	19,8	0,90	1812	0,92	0,220
Tijolo Maciço (22 cm)	20,7	0,90	1812	0,92	0,230
Ceram Tij Duplo 21 fur circ (12 cm)	12,3	0,90	1184	0,92	0,137
Ceram Tij Duplo 6 fur circ (15 cm)	20,3	0,90	568	0,92	0,226
Ceram Tij Duplo 8 fur quad (19 cm)	23,4	0,90	613	0,92	0,260
Ceram Tij Duplo 8 fur circ (20 cm)	29,1	0,90	500	0,92	0,323

Fonte: Ordenes et al. (2003, p. 12)

Tabela 4. Propriedades dos materiais considerados nas coberturas que formam a biblioteca do VisualDOE.

Nome do material	Espessura (cm)	Condutividade térmica (W/m K)	Densidade de massa aparente (kg/m ³)	Calor específico (kJ/kg K)	Resistência térmica (m ² K/W)
Câmara de ar com alta emissividade (> 5 cm)	-	-	-	-	0,210
Câmara de ar com baixa emissividade (> 5 cm)	-	-	-	-	0,610
Telha de barro (1 cm)	1,0	1,05	2000	0,92	0,010
Telha de fibro-cimento (0,7 cm)	0,7	0,95	1900	0,84	0,007
Forro madeira (1 cm)	1,0	0,14	600	2,30	0,071
Forro concreto (3 cm)	3,0	1,75	2200	1,00	0,017
Laje mista (12 cm) *	9,5	1,05	1087	0,92	0,090
Laje de concreto (20 cm)	20,0	1,75	2200	1,00	0,114
Laje de concreto (25 cm)	25,0	1,75	2200	1,00	0,143
Lâmina de alumínio polido ($\epsilon < 0,2$)	0,1	230,00	2700	0,88	0,000
Lã de vidro (2,5 cm)	2,5	0,05	50	0,70	0,556
Lã de vidro (5 cm)	5,0	0,05	50	0,70	1,111

* A espessura e densidade consideradas na laje mista são valores equivalentes calculados para um material cerâmico

Fonte: Ordenes et al. (2003, p. 13)

Tabela 5. Propriedades dos materiais considerados nos pisos térreos que formam a biblioteca do VisualDOE.

Nome do material	Espessura (cm)	Condutividade térmica (W/m K)	Densidade de massa aparente (kg/m ³)	Calor específico (kJ/kg K)	Resistencia térmica (m ² K/W)
Solo (45,7 cm)	45,7	0,87	1361	0,8373	0,528
Radier concreto (10 cm)	10,0	1,75	2400	1,00	0,057
Argamassa de reboco (2,5 cm)	2,5	1,15	2000	1,00	0,022
Piso cerâmico (10 mm)	1,0	0,90	1600	0,92	0,011
Piso madeira (10 mm)	1,0	0,14	600	2,30	0,071

Fonte: Ordenes et al. (2003, p. 13)

Tabela 6. Propriedades dos materiais considerados nos pisos entre andares que formam a biblioteca do VisualDOE.

Nome do material	Espessura (cm)	Condutividade térmica (W/m K)	Densidade de massa aparente (kg/m ³)	Calor específico (kJ/kg K)	Resistencia térmica (m ² K/W)
Laje mista (12 cm) *	9,5	1,05	1087	0,92	0,090
Laje de concreto (20 cm)	20,0	1,75	2200	1,00	0,114
Laje de concreto (25 cm)	25,0	1,75	2200	1,00	0,143
Radier concreto (10 cm)	10,0	1,75	2400	1,00	0,057
Argamassa de reboco (2,5 cm)	2,5	1,15	2000	1,00	0,022
Piso cerâmico (10 mm)	1,0	0,90	1600	0,92	0,011
Piso madeira (10 mm)	1,0	0,14	600	2,30	0,071

* A espessura e densidade consideradas na laje mista são valores equivalentes calculados para um material cerâmico

Tabela 7. Propriedades dos materiais considerados nos forros que formam a biblioteca do VisualDOE.

Nome do material	Espessura (cm)	Condutividade térmica (W/m K)	Densidade de massa aparente (kg/m ³)	Calor específico (kJ/kg K)	Resistência térmica (m ² K/W)
Painel fibra de madeira isolante	3,5	0,20	850	2,30	0,175
Painel vidro	-	-	-	-	0,610

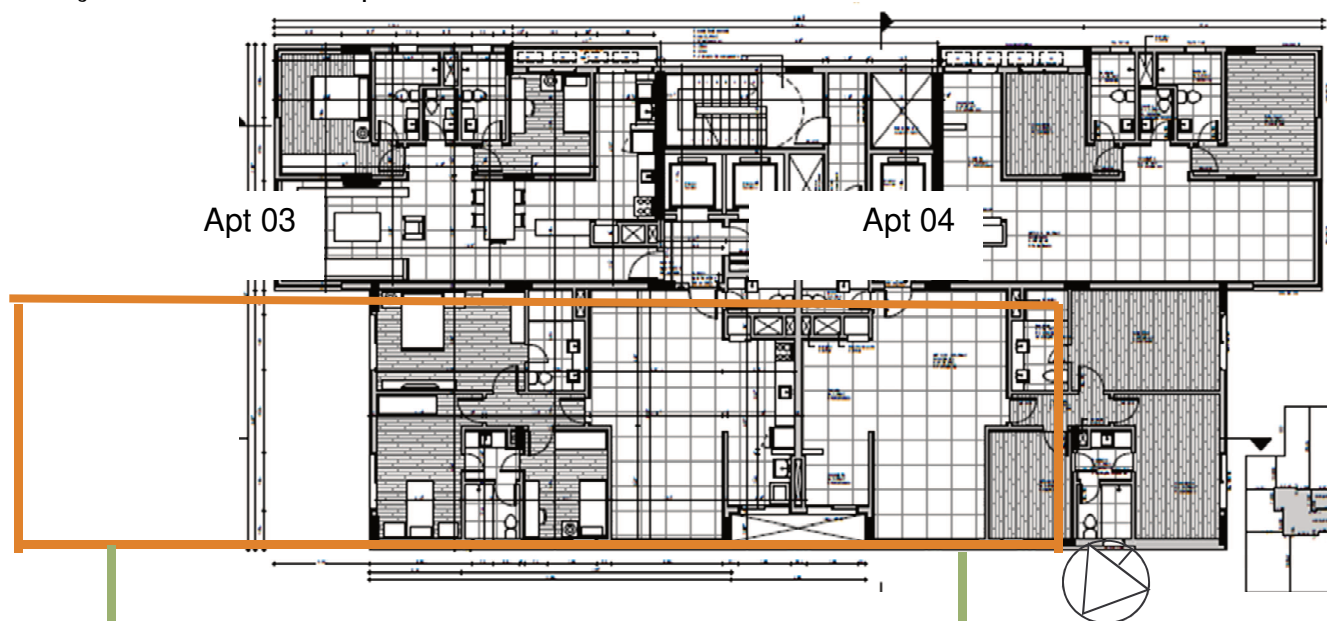
Tabela 8. Propriedades dos materiais considerados nas divisórias que formam a biblioteca do VisualDOE.

Nome do material	Espessura (cm)	Condutividade térmica (W/m K)	Densidade de massa aparente (kg/m ³)	Calor específico (kJ/kg K)	Resistência térmica (m ² K/W)
Painel fibra de madeira isolante	3,5	0,20	850	2,30	0,175
Painel vidro	0,8	1,15	2700	0,84	0,007

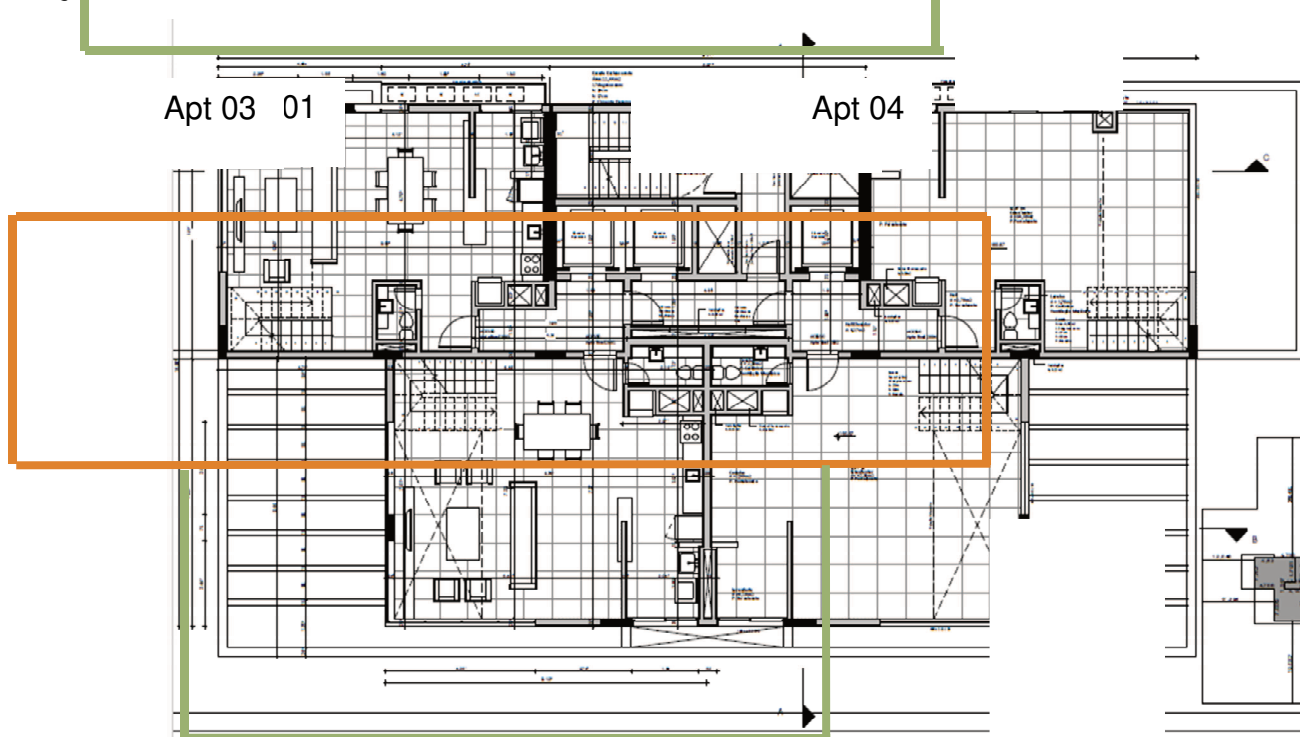
Fonte: Ordenes et al. (2003, p. 14)

ANEXO E – PROJETO ARQUITETÔNICO DAS EDIFICAÇÕES

Edificação A - Pavimento tipo



Edificação A - Lofts

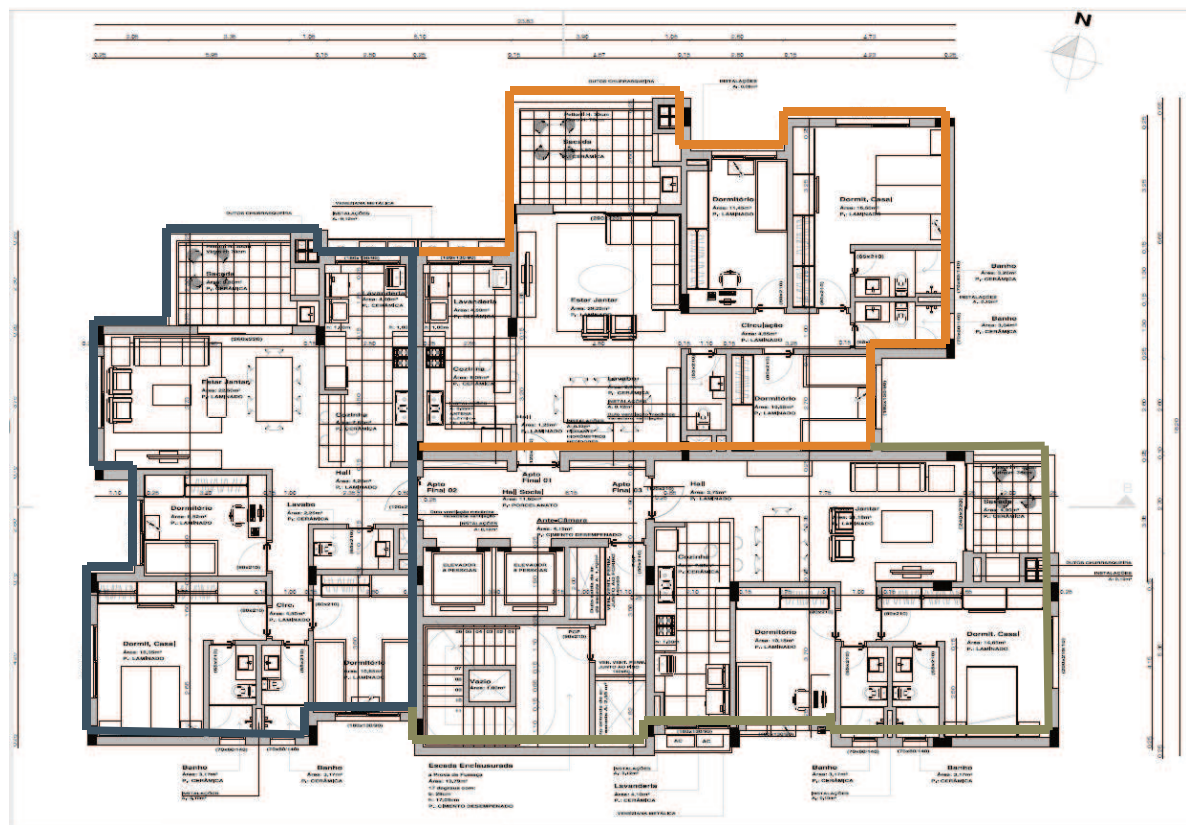


Apt 01

Apt 02

Edificação B

Projeto Arquitetônico – Planta Baixa



- Apartamento final 1
- Apartamento final 2
- Apartamento final 3

ANEXO F – PESQUISA DE CONSUMO DE ENERGIA DA EDIFICAÇÃO

Consumo de energia da edificação

1

Qual nome do residencial e número do apartamento?

nome do edifício e Número do apartamento

✓ 403

2

Número de moradores?

quantos moradores existem no apartamento?

✓ 2

3

Número do código do cliente RGE

Esta informação é confidencial e sigilosa, somente para obtenção dos dados de consumo anual de energia.

✓ 57610584

4

Possui ar condicionado?

☒ Sim

☐ Não

5

Quantos aparelhos possui em casa e qual potência ?

https://my.survey.com/E1Y6Z4U6P1G4H3H6U1F8/data/view

02/10/2018 Consumo de energia da edificação 1/4

02/10/2018 Consumo de energia da edificação

o uso do ar condicionado?

dormitório 1, corresponde ao dormitório menor. Caso sejam duas suítes, suíte menor corresponde a dormitório 1.

☒ Sala de estar

☐ Suíte

☐ Dormitório 1 (dormitório menor ou suíte com menor área)

☐ Dormitório 2

☐ Nenhum

9

Qual tipo de chuveiro possui?

☐ Elétrico

☒ À gás

10

QUAL CONSUMO DE ENERGIA MENSAL NOS PERÍODOS ABAIXO.

Verificar na conta de energia o consumo em kWh/mês. Lembrando que as contas, por exemplo, com vencimento em julho correspondem consumo de junho, portanto este consumo no mês de junho.

	ATE 100 Kwh	101 a 200 KWh	201 a 300 KWh	301 a 400 KWh	400 a 500 KWh	acima 500 KWh
JUNHO/16	☐	☒	☐	☐	☐	☐
JULHO/16	☐	☒	☐	☐	☐	☐
AGOSTO/16	☐	☒	☐	☐	☐	☐
DEZEMBRO/16	☐	☐	☒	☐	☐	☐
JANEIRO/17	☐	☐	☒	☐	☐	☐
FEVEREIRO/17	☐	☐	☒	☐	☐	☐

https://my.survey.com/E1Y6Z4U6P1G4H3H6U1F8/data/view

3/4

02/10/2018 Consumo de energia da edificação

marcar quantos ar condicionados existem de cada aparelho. Caso não possua nenhum ar condicionado das potências mencionadas marque "zero 0"

	0	1	2	3	4
9.000Btus	☒	☐	☐	☐	☐
12.000Btus	☐	☒	☐	☐	☐
18.000Btus	☒	☐	☐	☐	☐

6

Açiona o ar condicionado em qual situação?

o ar condicionado é ligado na residência em qual situação?

☐ Inverno

☒ Verão

☐ Por hábito

7

Qual ambiente do apartamento sente-se mais confortável sem o uso do ar condicionado?

dormitório 1, corresponde ao dormitório menor. Caso sejam duas suítes, suíte menor corresponde a dormitório 1.

☐ Sala de estar

☐ Suíte

☒ Dormitório 1 (dormitório menor ou suíte com menor área)

☐ Dormitório 2

☐ Nenhum

8

Qual ambiente do apartamento sente-se mais desconfortável sem

https://my.survey.com/E1Y6Z4U6P1G4H3H6U1F8/data/view

2/4

02/10/2018 Consumo de energia da edificação

11

Como se sente em relação ao desempenho térmico na residência?

☐ Muito satisfeito

☒ Satisfeito

☐ Razoavelmente satisfeito

☐ Indiferente

☐ Insatisfeito

Crie [Pesquisa & Questionário Online \(br/?\)](#) [utm_source=frontend&utm_campaign=footer&utm_medium=link&utm_term=v1](#) grátis ✓ Ativado pela Survey (br/?) [utm_source=frontend&utm_campaign=footer&utm_medium=brand&utm_term=v1](#)

[Termos e condições \(br/termos-e-condicoes\)](#) | [Política de Privacidade \(br/politica-de-privacidade\)](#) | © 2018 Survey (br/?) [utm_source=frontend&utm_campaign=footer&utm_medium=terms&utm_term=v1&utm_term=v1](#)

https://my.survey.com/E1Y6Z4U6P1G4H3H6U1F8/data/view

4/4