



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES
EM CONTÊINER**

Samara Andreoli

Lajeado, junho de 2017



Samara Andreolli

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES EM CONTÊINER

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do título de Bacharela em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Rodrigo Spinelli

Lajeado, junho de 2017

Samara Andreolli

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES EM CONTÊINER

A Banca examinadora abaixo aprova a Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do título de Bacharela em Engenharia Civil.

Prof. Me. Rodrigo Spinelli – orientador
Centro Universitário UNIVATES

Prof. Me. Douglas Ferreira Velho – avaliador
Centro Universitário UNIVATES

Prof. Me. João Batista Gravina - avaliador
Centro Universitário UNIVATES

Lajeado, 11 de julho de 2017

RESUMO

A sustentabilidade e a inovação são conceitos primordiais na construção civil. A cada dia, cresce a busca por edificações que sejam aliadas a esses conceitos, principalmente devido à necessidade de reutilização de materiais, visando à redução de geração de resíduos da construção civil. Nesse contexto, surge a possibilidade de utilização de contêineres marítimos e ferroviários na construção de edificações comerciais e residenciais. O recipiente de aço oferece resistência mecânica, durabilidade, flexibilidade e diversas possibilidades de modulação, entretanto, suas propriedades térmicas apresentam alto fator de absorção e dissipação de calor, as quais exigem que tratamentos especiais sejam realizados nessas edificações, visando minimizar o desconforto térmico interno. Assim sendo, este trabalho teve como objetivo principal verificar o desempenho térmico de edificações em contêiner, a partir medições de temperatura *in loco* e de simulações computacionais através do *software EnergyPlus*, combinando diferentes tipos de isolamentos térmicos existentes na construção civil. Foram analisadas as diferenças de temperatura dos ambientes externo e interno das edificações e fatores de transmitância térmica e atraso térmico das materialidades dos fechamentos. Os resultados dos experimentos comprovam que as edificações em contêiner com isolamento térmico atendem aos critérios de desempenho térmico estabelecidos pelas normas NBR 15220-3/2005 e 15575-1/2013.

Palavras-chave: Contêiner. Desempenho térmico. Temperatura.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Contêineres ferroviários e marítimos.....	18
Figura 2 – Contêineres Dry Box	19
Figura 3 – Contêiner High Cube.....	19
Figura 4 – Contêiner Refrigerado.....	20
Figura 5 – Contêiner Open Top.....	20
Figura 6 – Contêiner Tank.....	21
Figura 7 – Contêiner Flat Rack.....	21
Figura 8 – Conjunto habitacional na Holanda.....	23
Figura 9 – Casa contêiner no Canadá.....	24
Figura 10 – Casa contêiner na Costa Rica.....	24
Figura 11 – Casa contêiner no Chile	25
Figura 12 – Casa contêiner em São Paulo.....	25
Figura 13 – Escritório em contêiner em Manaus	26
Figura 14 – Casa em contêiner no Paraná.....	27
Figura 15 – Comportamento térmico dos contêineres.....	33
Figura 16 – Zoneamento bioclimático brasileiro	34
Figura 17 – Interface principal do programa <i>EnergyPlus</i>	41
Figura 18 – Sistema de edição de dados do <i>EnergyPlus</i>	41
Figura 19 – Lã de rocha	45
Figura 20 – Lã de vidro	46
Figura 21 – Poliestireno expandido (EPS)	47
Figura 22 – Poliestireno extrudado.....	48

Figura 23 – Espuma rígida de poliuretano	49
Figura 24 – Equipamento MT-530 R	52
Figura 25 – Corte esquemático	54
Figura 26 – Contêiner com isolamento térmico usado nas medições <i>in loco</i>	68
Figura 27 – Contêiner sem isolamento térmico usado nas medições <i>in loco</i>	68

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Temperaturas externas em dias de projeto	56
Gráfico 2 – Temperaturas no dia 21 de dezembro	58
Gráfico 3 – Temperaturas no dia 21 de janeiro	58
Gráfico 4 – Temperaturas no dia 21 de fevereiro	59
Gráfico 5 – Temperaturas no dia 21 de março	59
Gráfico 6 – Temperaturas das edificações no dia 08 de janeiro	62
Gráfico 7 – Temperaturas das edificações no dia 11 de março	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo energético anual no Brasil.....	16
Tabela 2 – Parâmetros de conforto	31
Tabela 3 – Critérios de desempenho térmico.....	32
Tabela 4 – Relação de cidades e zonas bioclimáticas	34
Tabela 5 – Resistência térmica superficial	36
Tabela 6 – Parâmetros admissíveis para cada tipo de vedação externa	39
Tabela 7 – Vedações externas.....	39
Tabela 8 – Propriedades dos materiais.....	44
Tabela 9 – Combinações de materialidades construtivas	53
Tabela 10 – Coordenadas do modelo construtivo	55
Tabela 11 – Fechamentos transparentes.....	55
Tabela 12 – Temperatura máxima em dias de projeto	57
Tabela 13 – Nomenclatura das materialidades	57
Tabela 14 – Temperatura máxima em dias de projeto	60
Tabela 15 – Temperatura máxima em dias de projeto	60
Tabela 16 – Dia de maior temperatura.....	61
Tabela 17 – Dia de menor temperatura.....	62
Tabela 18 – Temperatura interna máxima e nível de conforto	63
Tabela 19 – Resistência térmica total	65
Tabela 20 – Transmitância térmica	66
Tabela 21 – Atraso térmico	67
Tabela 22 – Medições <i>in loco</i> - contêiner sem isolamento térmico	69
Tabela 23 – Medições <i>in loco</i> - contêiner com isolamento térmico	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EPS	Poliestireno Expandido
NBR	Norma Brasileira Registrada
ISO	International Standard for Organization
TBS	Temperatura de Bulbo Seco
TO	Temperatura Operativa
XPS	Poliestireno Extrudado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	8
1.1 Tema.....	9
1.2 Problema.....	9
1.3 Hipótese	10
1.4 Objetivo geral	10
1.5 Objetivos específicos.....	10
1.6 Justificativa e relevância do trabalho.....	11
1.7 Delimitação do trabalho.....	11
1.8 Estrutura do trabalho	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 Habitação	13
2.2 Sustentabilidade na construção civil	14
2.2.1 Eficiência energética.....	15
2.3 Contêiner.....	17
2.3.1 Tipos.....	18
2.3.2 Utilização na construção civil	22
2.3.2.1 Projetos em contêiner	23
2.3.2.2 Vantagens	26
2.3.2.3 Custos	28
2.4 Conforto térmico	28
2.4.1 Transferências de calor	32
2.4.2 Avaliação do desempenho térmico	33
2.4.2.1 Resistência térmica.....	35
2.4.2.2 Transmitância térmica	37

2.4.2.3 Capacidade térmica.....	37
2.4.2.4 Atraso térmico	38
2.4.2.5 Fator de ganho de calor solar	38
2.4.2.6 Programa <i>EnergyPlus</i>	40
2.4.2.7 Medições <i>in loco</i>	43
2.5 Isolamento térmico de edificações	43
2.5.1 Lã de rocha	45
2.5.2 Lã de vidro	46
2.5.3 Poliestireno expandido	46
2.5.4 Poliestireno extrudado.....	47
2.5.5 Espuma rígida de poliuretano	48
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	50
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
4.1 Análise computacional	53
4.1.1 Análise térmica em dias de projeto	56
4.1.2 Análise térmica em dias significativos.....	61
4.2 Características térmicas dos materiais	64
4.2.1 Transmitância térmica	64
4.2.2 Atraso térmico	66
4.3 Medições <i>in loco</i>	67
5 CONCLUSÃO	71
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil está constantemente em processo de inovação. A cada dia surgem novos métodos construtivos e novos materiais para serem usados, com finalidades distintas ou semelhantes a outros que já existem nesse setor, trazendo vantagens significativas ao sistema, seja no tempo de execução, custos, facilidade ou responsabilidade ambiental. Nesse contexto, é constante a busca por novas ideias que atendam as diferentes demandas e necessidades dos clientes.

Embora seja um setor com perspectivas avançadas no quesito tecnologia e inovação, alguns conceitos básicos ainda precisam ser evoluídos, principalmente em relação à preservação do meio ambiente.

A busca por métodos sustentáveis de utilização de materiais, através do gerenciamento dos processos está cada vez maior, tendo em vista que o setor tem como característica altos índices de geração de resíduos. As estratégias ambientais são inseridas nessa área visando redução desses resíduos e iniciativas de reutilização de materiais, que além de resultarem em melhores condições ambientais, beneficiem o projeto com reduções em custos.

O contêiner é um recipiente metálico usado no setor de transporte de cargas ferroviárias e marítimas, descartado após 10 anos de uso. Embora esteja em perfeitas condições, o recipiente não é mais utilizado após esse período, sendo depositado junto ao meio ambiente ou reutilizado em outros segmentos, como a construção civil, em edificações residenciais e comerciais.

A utilização desse recipiente se insere na construção civil como uma alternativa sustentável de reutilização do material. A ideia já é bastante difundida em outros países, principalmente da Europa, e cresce no Brasil à medida que seus benefícios são reconhecidos pela população.

Devido ao alto fator de condução de calor do recipiente, em função da sua estrutura ser formada em aço, os profissionais que projetam edificações em contêiner devem adotar medidas de isolamento térmico visando o conforto interno dos usuários do ambiente.

1.1 Tema

O tema abordado nesse trabalho tem como objetivo mostrar as possibilidades de construções a partir de contêineres, apresentando fatores que comprovem a importância do conforto térmico e materiais usados para o isolamento térmico, comprovando que essas edificações, além de estarem aliadas à sustentabilidade do meio ambiente, podem apresentar favoráveis índices de desempenho térmico.

1.2 Problema

A utilização de contêineres como modelos habitacionais e comerciais cresce no mercado da construção civil, entretanto, tais construções exigem muita atenção no que diz respeito ao conforto dos usuários.

Desse modo, o presente trabalho contempla um problema de pesquisa que pode ser exemplificado na seguinte pergunta: Quais são os benefícios relacionados à construção de uma edificação em contêiner e quais exigências devem ser cumpridas para que apresente um favorável desempenho térmico?

1.3 Hipótese

O presente trabalho parte do pressuposto que uma edificação em contêiner é um método sustentável e econômico de construção, e que apresenta desempenho térmico semelhante a outros métodos construtivos tradicionais, desde que adotadas medidas de isolamento térmico.

1.4 Objetivo geral

O objetivo geral desse trabalho é verificar dentre os isolamentos térmicos existentes na construção civil, quais atendem aos critérios estabelecidos em norma para conforto térmico e realizar uma comparação entre o desempenho térmico de edificações em contêiner e uma edificação convencional em alvenaria, a partir de simulações computacionais.

1.5 Objetivos específicos

Os objetivos específicos que norteiam o presente trabalho estão expressos nos seguintes itens:

- Determinar a transmitância térmica e atraso térmico de edificações em contêiner com diferentes tipos de isolamentos térmicos;
- Determinar o desempenho térmico de edificações em contêiner com materiais isolantes através de simulações computacionais;
- Verificar a temperatura interna e umidade relativa do ar de edificações em contêiner a partir de medições *in loco*.

1.6 Justificativa e relevância do trabalho

A utilização de contêineres na construção civil está associada aos conceitos de renovação, sustentabilidade e economia. O recipiente utilizado no setor de transporte de carga marítima e ferroviária vem sendo aproveitado como estrutura de edificações para comércios, alojamentos e casas, substituindo os tradicionais métodos construtivos. A proposta traz consigo algumas vantagens como agilidade construtiva, redução na geração de resíduos da construção, eficiência energética e custos.

1.7 Delimitação do trabalho

O trabalho abrange analisar materiais e métodos de isolamento térmico que podem ser aplicados em edificações formadas por contêineres, visando atingir favoráveis índices de desempenho térmico, de acordo com as normas vigentes.

1.8 Estrutura do trabalho

A monografia está estruturada em cinco capítulos. O capítulo 1 apresenta elementos como a introdução, tema, problema, hipótese, objetivos gerais e específicos, justificativa, delimitação e a estrutura do trabalho desenvolvido.

O capítulo 2 abrange a revisão bibliográfica, a qual aborda a importância da sustentabilidade na construção civil aliada à eficiência energética das habitações. Além disso, estão apresentados os tipos de contêineres usados no transporte de cargas e como estão sendo implantados na construção civil, destacando exemplos de projetos, vantagens e custos. Tendo em vista que o contêiner é formado por elementos que absorver e dissipam muito facilmente o calor, nesse capítulo também é abordada a importância do conforto térmico em habitações, formas de avaliação e de isolamento térmico.

O capítulo 3 apresenta a metodologia adotada e métodos que foram executados para determinar as condições de desempenho térmico de contêineres com diferentes isolamentos térmicos.

O capítulo 4 apresenta os procedimentos experimentais adotados para realização desse trabalho, os resultados obtidos e as análises desses resultados, baseados nas normas que tratam sobre o conforto térmico de ambientes.

O capítulo 5 trata da conclusão final do trabalho, a qual apresenta uma análise geral dos resultados dos experimentos, que permitiu atestar a eficiência dos isolamentos térmicos em edificações em contêiner, no que diz respeito ao atendimento dos requisitos mínimos de conforto dos usuários.

O último capítulo apresenta as referências bibliográficas utilizadas para embasamento teórico e construção dessa monografia.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Habitação

A habitação é um local que oferece abrigo, segurança e proteção contra ações do meio externo. É um conjunto de elementos estruturais que representa um ambiente íntimo e de descanso para as pessoas que a ocupam. Para Costa (1982), a habitação tem como finalidade proteger o ser humano contra as ações do meio ambiente e fenômenos meteorológicos, principalmente fatores como a chuva, neve, vento, insolação e variações de temperatura.

Embora as habitações mais convencionais sejam as casas e edifícios construídos em alvenaria e estruturados em elementos em concreto armado, novas tendências arquitetônicas e estruturais surgem a cada dia e crescem no mercado da construção civil no Brasil.

Conforme Koski (2014), atualmente, a habitação está além de atender apenas as necessidades básicas, mas também deve atender outros interesses que a sociedade passou a ter, principalmente em relação à estética e ao conforto do ambiente. As edificações estão cada vez mais vinculadas aos conceitos de diversidade, flexibilidade e personalização. Esses conceitos estão relacionados com a inovação, desenvolvimento tecnológico, padrões sociais e níveis de satisfação. Para Schmid (2005, p. 13), a casa:

Atende a um conjunto de necessidades básicas de segurança, envolvimento, orientação no tempo e, principalmente, no espaço. É como se oferecesse consolo interminável ao ser humano, lançado no mundo. E na casa, a qualidade mais importante parece ser o conforto.

A elegância arquitetônica e a eficiência térmica das edificações nem sempre andam lado a lado. A implantação de sistemas de climatização e condensadores de ar condicionado são importantes para o bem estar das pessoas que ocupam o ambiente, no entanto, têm influenciado diretamente na aparência das edificações. Essa temática surge como um desafio para os projetistas que devem combinar estética e eficiência (SCHMID, 2005).

Com o passar dos anos, as construções residenciais e comerciais começaram a evoluir de forma a atender as necessidades requeridas pelas pessoas, de acordo com a finalidade de sua ocupação. Schmid (2005) destaca que “houve contribuições efetivas ao desempenho energético, já que os conhecimentos em isolamento térmico e ventilação também avançaram”.

2.2 Sustentabilidade na construção civil

Sustentabilidade é a capacidade de algo ou atividade se sustentar ou de se manter por um tempo indeterminado. Se as explorações dos recursos naturais forem realizadas de maneira sustentável, esses recursos não se esgotarão e poderão durar para sempre. Uma sociedade sustentável, caracteriza-se por não apresentar riscos ao meio ambiente (MIKHAILOVA, 2004).

Para Reis (2002), a habitação sustentável é aquela que faz a interação entre a natureza e o ambiente construído, cuja função seja contribuir para o aumento da qualidade de vida das pessoas, por meio da combinação do uso adequado de materiais e estudo das necessidades humanas.

O cenário atual da construção civil apresenta uma crescente busca por métodos que visam reduzir os impactos ambientais, sejam nas etapas de produção de materiais usados ou na construção das edificações. Isso porque uma habitação de qualidade é aquela realizada sem comprometer os ecossistemas existentes ao seu redor, o que exige que as empresas construtoras assumam uma postura ética de preservação ao meio ambiente (FLORIM; QUELHAS, 2004).

Entretanto, conforme afirma Koski (2014), o “sistema de construção civil [...] é responsável pelo alto consumo de recursos naturais e pela geração de resíduos sólidos construtivos”, os quais nem sempre são realizados de forma sustentável. Além disso, outras atividades exercidas na construção civil também são potencialmente prejudiciais ao meio ambiente. Segundo Florim e Quelhas (2004, v. 6, n. 3, p. 126):

A construção de habitações requer, geralmente, adaptação ao terreno que sofrerá intervenção. Esta adaptação costuma gerar desmatamento, alteração do seu perfil topográfico, modificando a paisagem local e causando alterações ambientais também na região do seu entorno. Requer, ainda, diversos materiais e componentes construtivos, consome água e energia, gera poeira, resíduos (principalmente entulhos) e ruídos durante as obras.

Os autores afirmam ainda que é ambientalmente insustentável o método de construção de uma residência que, embora apresente um excelente desempenho térmico, exige materiais cuja técnica de produção envolve um alto consumo de energia. Dentre esses materiais, destacam-se o cimento e os blocos de cimento, o aço, o alumínio, o vidro e os elementos cerâmicos.

Apesar de muito ainda precisar ser desenvolvido na construção civil em relação à sustentabilidade, alguns equipamentos e processos construtivos já existem no mercado atual que apresentam bons resultados a favor da sustentabilidade, como a reutilização de materiais, implantação de telhados verdes, coletores de água da chuva e painéis solares para geração de energia elétrica e aquecimento de água.

De acordo com Koski (2014), para que a construção de uma edificação esteja aliada a preservação dos recursos naturais do planeta, deve-se optar pela utilização de materiais renováveis, como madeira e bambu, reutilizáveis e recicláveis.

2.2.1 Eficiência energética

Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o consumo de energia elétrica no Brasil vem crescendo a cada ano, devido ao aumento do uso de sistemas de climatização, automatização de equipamentos no setor da indústria e principalmente pelo aumento de consumidores. A pesquisa apresenta dados de

consumo energético no período de 2004 a 2015, conforme Tabela 1, mostrando que apenas em 2015 houve uma redução no consumo de energia no país. Para a EPE, essa redução ocorreu devido às crises financeiras da população, principalmente em relação às condições de emprego e renda. Conforme dados da pesquisa, em relação ao ano de 2015, o consumo médio mensal por residência foi de 161,8 kWh.

Tabela 1 – Consumo energético anual no Brasil

Ano	Consumo (MWh)
2004	329.707.427
2005	344.283.675
2006	356.129.316
2007	377.030.014
2008	388.472.399
2009	384.306.380
2010	415.682.702
2011	433.033.601
2012	448.104.750
2013	463.142.494
2014	474.822.681
2015	464.401.607

Fonte: Adaptado de www.epe.gov.br.

Apesar da redução no consumo de energia no último ano, os profissionais projetistas ainda buscam soluções eficientes para implantar em seus projetos residenciais, que ofereçam conforto aos usuários aliado ao baixo consumo energético (KREBS; MOURA; CUNHA, 2015).

Para Fonseca et al. (2010), a sustentabilidade é um fator que tem chamado atenção de engenheiros e arquitetos no que diz respeito à realização de ações e utilização de materiais na construção civil, que buscam reduzir os impactos ao meio ambiente e aumentam o aproveitamento de recursos naturais. Essas práticas contribuem para a eficiência energética das edificações, a qual está diretamente relacionada à redução do consumo de energia e, conseqüentemente, redução dos impactos ambientais.

De acordo com Koski (2014 apud Jourda, 2009), a sustentabilidade está diretamente relacionada à fatores de conforto de ambientes, tais como iluminação e

ventilação. Para reduzir o uso de iluminação artificial, os ambientes devem ser projetados de modo a permitir entrada de iluminação natural, assim como devem possibilitar a ventilação natural, reduzindo a necessidade de ventilação mecânica, a qual é responsável pelo alto consumo energético das edificações.

2.3 Contêiner

Nas primeiras navegações marítimas, os tonéis eram os recipientes geralmente utilizados para transportar as mercadorias nas exportações mundiais, visto que eram resistentes e facilmente manuseáveis. Com o passar dos anos e com o aumento da demanda de transporte, percebeu-se à necessidade de se criar um recipiente mais forte, resistente e maior para essa finalidade, surgindo assim o contêiner (SOUZA, 2015).

Com o novo recipiente, as empresas conseguiram viabilizar a redução de custos com o frete, e conseqüentemente, a redução no custo final do produto transportado, o que resultou no aumento das exportações mundiais (ROMANO; PARIS; NEUENFELDT JÚNIOR, 2014). A utilização desse material favoreceu as operações principalmente em grandes portos, contribuindo para o aumento da eficiência, segurança e agilidade do processo de transporte (BANDEIRA; BECKER; BORENSTEIN, 2008).

Para Souza (2015), os contêineres são recipientes de metal, caracterizados por apresentarem ondulações nas paredes e tetos, e utilizados no transporte de cargas em embarcações marítimas e ferroviárias, conforme mostra a Figura 1, sendo responsáveis por 95% do carregamento global de mercadorias. Os pisos são formados por tábuas de madeira resistentes, que podem ser substituídas quando necessário.

Os contêineres são formados em aço corten ou patináveis, que segundo a Empresa Gerdau, são aços que apresentam alta resistência mecânica, sendo superior a 35 kgf/mm² e alta resistência à corrosão, se comparado a outros aços estruturais. O aço corten possui elementos como níquel, cromo, silício, cobre e fósforo, totalizando 3% de liga.

O processo de enferrujamento desse aço acontece de maneira semelhante a outros aços comuns, entretanto, os elementos de liga mencionados permitem a produção de uma camada de ferrugem estável e muito aderente a superfície do metal, chamada de pátina, a qual desenvolve-se apenas em condições alternadas de umidade e secagem, tornando o aço ideal para aplicações em ambientes externos.

Figura 1 – Contêineres ferroviários e marítimos



Fonte: www.issuu.com

De acordo Koski (2014), os contêineres devem ser suficientemente fortes para serem adequados ao uso repetitivo, facilitar o transporte de cargas por um ou mais meios de transporte, ser equipado com dispositivos que permita sua manipulação, principalmente em relação à transferência de um modal para outro, além de poder ser facilmente enchido ou esvaziado.

As dimensões dos contêineres são padronizadas de acordo com a ISO e as unidades de medidas são dadas em pés e polegadas. A primeira unidade de medida é correspondente a 30,48 cm, enquanto a segunda é equivalente a 2,54 cm. O peso máximo suportado pelos contêineres varia de 30 a 48 toneladas, dependendo do seu tipo e de seu tamanho (SOUZA, 2015).

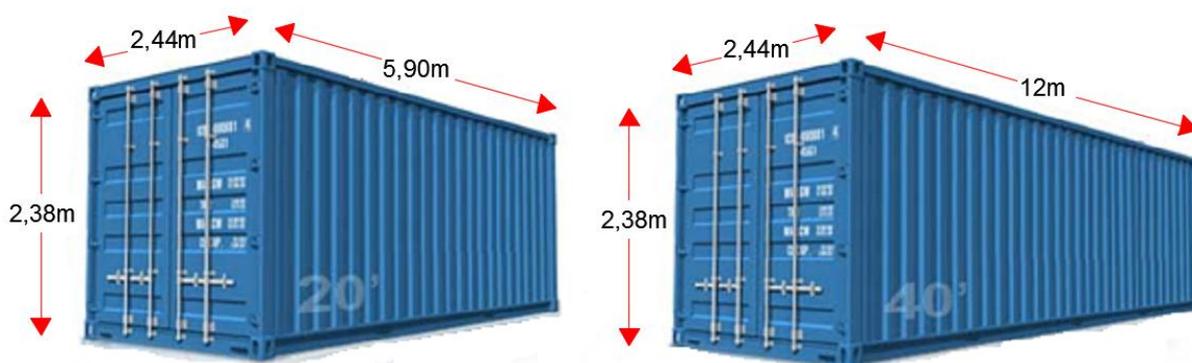
2.3.1 Tipos

De acordo com Souza (2015), existem diversos tipos de contêineres utilizados no setor de transporte de cargas, dentre eles Dry Box 20' e 40', High Cube 40',

Refrigerado 20' e 40', Open Top 20' e 40', Tank 20' e Flat Rack 20' e 40', conforme descrições a seguir.

Contêineres Dry Box de 20' e 40' são os modelos mais utilizados no setor de transporte para carregamento de cargas secas e não perecíveis, sendo caracterizados por serem totalmente fechados e possuem uma única porta, conforme Figura 2.

Figura 2 – Contêineres Dry Box



Fonte: www.casa-de-container.com

Contêineres High Cube de 40' possuem características semelhantes aos contêineres Dry Box, porém são usados para carregamento de produtos não perecíveis que apresentam baixo peso (FIGURA 3).

Figura 3 – Contêiner High Cube



Fonte: www.ibfreight.com.br

Contêineres refrigerados de 20' e 40' (FIGURA 4) são utilizados no carregamento de cargas que precisam ser mantidas em temperaturas controladas. Possuem uma estrutura isolada termicamente e um sistema de refrigeração embutido.

Figura 4 – Contêiner Refrigerado



Fonte: www.ibfreight.com.br

Contêineres Open Top de 20' e 40' são abertos na parte superior, sendo fechados com lonas, e possuem uma porta nos fundos (FIGURA 5). Esses modelos são geralmente utilizados no transporte de cargas que não podem ser transportadas em um contêiner Dry Box, devido à necessidade de um acesso especial para posicionar a mercadoria dentro do contêiner.

Figura 5 – Contêiner Open Top



Fonte: www.ibfreight.com.br

Contêineres Tank de 20' são normalmente utilizados para transportar cargas líquidas e gasosas (FIGURA 6).

Figura 6 – Contêiner Tank



Fonte: www.ibfreight.com.br

Contêineres Flat Rack de 20' e 40' são contêineres plataforma que não apresentam paredes e teto (FIGURA 7), usados no transporte de cargas de grandes dimensões e elevados pesos, como madeiras, maquinários e veículos.

Figura 7 – Contêiner Flat Rack



Fonte: www.ibfreight.com.br

2.3.2 Utilização na construção civil

O contêiner possui uma vida útil de aproximadamente dez anos e é normalmente descartado após esse período. As empresas consideram economicamente mais viável adquirir um novo recipiente e por isso, seu destino final acaba sendo a reciclagem ou o abandono junto ao meio ambiente (ROMANO; PARIS; NEUENFELDT JÚNIOR, 2014).

Embora os contêineres Dry Box e High Cube tenham sido projetados para armazenar e transportar mercadorias, seus espaços internos permitem que pessoas possam ocupá-los, tendo em vista que a altura de ambos é aproximadamente à altura de uma residência convencional, por isso, acaba sendo conveniente a utilização desses recipientes na construção civil (GARRIDO, 2015, tradução nossa).

A adaptação do contêiner na arquitetura já tem conquistado adeptos e uma posição de destaque em diversos países espalhados pelo mundo, como França, Inglaterra, Alemanha, Chile, Estados Unidos, Japão, Holanda, entre outros. Atualmente, inúmeros são os usos dados ao contêiner na arquitetura, variando desde simples módulos habitacionais ou pontos comerciais a conjuntos habitacionais para estudantes. [...] No Brasil, a adaptação do contêiner ainda não é considerada uma prática construtiva muito difundida, [...] mas é possível considerar que, apesar das poucas manifestações pontuadas, alguns projetos já foram executados e ainda outras diversas propostas já são visíveis (KOSKI, 2014, p. 43).

Segundo Garrido (2015, tradução nossa), para que seja possível construir habitações em contêiner, é necessário realizar algumas ações visando garantir condições mínimas para que ele possa ser habitado, dentre as quais estão melhorar o comportamento térmico e acústico, implantar áreas de ventilação natural e realizar impermeabilização. Além disso, o autor destaca que toda a estrutura lateral do contêiner é também responsável por suportar as cargas aplicadas sobre ele, por isso, deve-se ter cuidado ao realizar recortes na estrutura para criação de espaços maiores ou aberturas para colocação de esquadrias, devendo-se reforçar a estrutura restante quando necessário.

De acordo com Occhi, Almeida e Romanini (2015, p. 4), “é possível empilhar até nove [contêineres], com peso máximo de 25 toneladas por pavimento”. O processo de empilhamento e fixação é realizado de forma rápida, exigindo apenas o auxílio de guinchos.

2.3.2.1 Projetos em contêiner

Como mencionado, os contêineres já são muito utilizados em construções de edifícios residenciais e comerciais. Dessa forma, serão listados abaixo alguns exemplos desses empreendimentos.

Keetwonen (Holanda) - O conjunto habitacional para estudantes é formado por 1.026 contêineres de 40', distribuídos em 12 edifícios e 5 pavimentos (FIGURA 8). Os acessos aos contêineres superiores acontecem através de escadas externas. As unidades residenciais possuem em torno de 30m² cada, além de janelas para entrada de ventilação e iluminação. As paredes e tetos dos contêineres foram revestidos com gesso e material isolante do tipo poliestireno extrudado, enquanto os pisos foram revestidos com uma camada isolante para impedir a passagem de ruído e madeira (KOSKI, 2014).

Figura 8 – Conjunto habitacional na Holanda



Fonte: www.huffingtonpost.com

Zigloo Domestique (Canadá) – A edificação residencial foi projetada por Keith Dewey, sendo formada por 8 contêineres dispostos em 2 pavimentos, posicionados sobre uma base de concreto (FIGURA 9). O projeto visava reutilizar materiais e reduzir a geração de resíduos (KOSKI, 2014).

Figura 9 – Casa contêiner no Canadá



Fonte: www.zigloo.ca

Contêiner Esperança (Costa Rica) – A habitação projetada por Benjamin Garcia Saxe possui 100m² e é formada por 2 contêineres dispostos paralelamente (FIGURA 10). Na residência, foram implantadas grandes aberturas para entrada de iluminação e ventilação natural e as paredes foram revestidas com painéis *drywall* (KOSKI, 2014).

Figura 10 – Casa contêiner na Costa Rica



Fonte: Koski (apud Plataforma Arquitectura, 2013).

Caterpillar House (Chile) – A casa foi projetada em 2012 pelo arquiteto Sebastián Irarrázaval, contendo um total de 12 contêineres, sendo 5 unidades Dry

Box 40', 6 unidades Dry Box 20' e 1 unidade Open Top 40' para a piscina (FIGURA 11).

Figura 11 – Casa contêiner no Chile



Fonte: www.archdaily.com

Casa contêiner (São Paulo, Brasil) – A habitação de 196m² foi projetada pelo arquiteto Danilo Corbas e é formada por 4 contêineres, os quais foram distribuídos em 2 andares (FIGURA 12). Para realizar o isolamento térmico e acústico, a casa teve suas paredes revestidas com lã de PET e *drywall*, enquanto no teto foram usadas camadas de poliuretano, lã mineral e cobertura em telhas térmicas (KOSKI, 2014).

Figura 12 – Casa contêiner em São Paulo



Fonte: www.bioretro.eco.br/casa-container-a-casa-do-futuro

Escritório Vipe Arquitetura (Manaus, Brasil) – Edificação projetada pelo arquiteto Vitor Pessoa com 70m², construída a partir de 2 contêineres marítimos High Cube de 40' (FIGURA 13) e isolada termicamente com poliestireno expandido.

Figura 13 – Escritório em contêiner em Manaus



Fonte: www.galeriadaarquitetura.com.br

2.3.2.2 Vantagens

Para Souza (2015), a utilização do contêiner como elemento construtivo principal de uma habitação residencial traz certas vantagens em relação ao método convencional de construção em alvenaria, visto que são pré-fabricados, produzidos em grande escala e caracterizados por serem econômicos e facilmente modulados.

Segundo Koski (2014 apud Kotnik, 2008), as vantagens em sua utilização a serem destacadas são: possibilidade de modulação, tendo em vista que existem infinitas combinações que podem ser adotadas; velocidade no processo de montagem, os quais podem ser adaptados em um período curto de tempo; robustez, considerando que sua estrutura é resistente a diversas condições climáticas; e flexibilidade, que permite que sejam realizadas mudanças ou adições de novos elementos à estrutura.

Embora os contêineres sejam produzidos em massa, eles permitem a criação de estruturas únicas e originais, customizadas de acordo com a necessidade do cliente. Além disso, a estrutura do contêiner pode ser combinada a outros materiais utilizados na construção civil, como por exemplo, o aço, a madeira, o concreto e o vidro (KOSKI, 2014). A Figura 14 mostra uma residência construída no estado do Paraná, formada pelo conjunto de seis contêineres de 40' e outros materiais.

Figura 14 – Casa em contêiner no Paraná



Fonte: www.regionalimoveis.com.br

Devido ao seu potencial construtivo, o contêiner vem sendo utilizado na construção civil como uma forma de habitação inovadora, contemporânea e sustentável, caracterizada principalmente pela reutilização do material (SOUZA, 2015).

Segundo Koski (2014), a construção de uma residência com contêiner está relacionada a alguns princípios básicos de sustentabilidade, tais como a reutilização, redução e reciclagem de materiais. Além disso, é possível adaptar sistemas de painéis solares para geração de energia elétrica e aquecimento de água, telhado verde e sistema de coleta de água.

2.3.2.3 Custos

O custo envolvido em uma construção habitacional em contêineres pode representar uma economia de gastos, principalmente devido ao reduzido tempo de obra. De acordo com Occhi, Almeida e Romanini (2015, apud Sotello 2012), uma casa formada por dois contêineres de 40', totalizando aproximadamente 60m², contendo sala, cozinha, 2 quartos e 2 banheiros, pode ser montada em apenas uma semana. Nessa etapa da construção, é perceptível que o custo com mão-de-obra será reduzido em relação a uma construção tradicional em alvenaria. Já os sistemas de instalações elétricas e hidráulicas, fundação e impermeabilização são semelhantes aos métodos usados em uma casa tradicional, e por isso, o tempo de execução dessas etapas será o mesmo.

De acordo com Garrido (2015, tradução nossa), a construção de uma habitação em contêiner pode representar uma redução no custo total da obra em relação a outros métodos construtivos, entretanto, essa redução dependerá do preço do contêiner e da estrutura a qual está substituindo. O autor destaca que uma construção em contêiner que ofereça condições similares a uma habitação convencional, não garante que será substancialmente mais barata.

2.4 Conforto térmico

Segundo Büneker (2003), conforto térmico de um ambiente está relacionado ao nível de satisfação que uma pessoa tem em relação ao ambiente em que está inserida. Existem algumas variáveis que influenciam no conforto térmico sentido por cada pessoa, dentre elas, o próprio indivíduo, a resistência térmica da vestimenta, a velocidade do ar, a umidade relativa do ar e a temperatura do ar.

- **Resistência térmica da vestimenta**

De acordo com Baltar (2006), as vestimentas “são responsáveis pela resistência às trocas de calor sensível entre o corpo e o ambiente ao seu redor, proporcionando um isolamento térmico da pele”. Nesse sentido, quanto maior o isolamento do corpo, menores serão as trocas de calor entre indivíduo e o ambiente.

Lamberts (2011) destaca que a vestimenta é um fator de grande influência no conforto térmico das pessoas. Segundo o autor, a zona de conforto para pessoas vestidas fica compreendida entre 23°C e 27°C, enquanto que para pessoas nuas, a zona de conforto mantém-se entre 29°C e 31°C.

- **Velocidade do ar**

Lamberts (2011) afirma que a velocidade do ar “é um parâmetro definido por sua magnitude e direção. No caso de ambientes térmicos, o que é considerado é a velocidade efetiva do ar, ou seja, a magnitude do vetor velocidade do fluxo no ponto de medição considerado”.

- **Umidade relativa do ar**

Determinada como a quantidade de vapor d' água presente no ar, formada a partir da evaporação da água no processo de modificação do seu estado líquido para gasoso, sem alteração de sua temperatura (BALTAR, 2006).

Segundo a NBR 15220-1/2005, a umidade relativa do ar é o “quociente da umidade absoluta do ar pela umidade absoluta do ar saturado para a mesma temperatura e pressão atmosférica”.

- **Temperatura do ar**

Conforme Baltar (2006), a temperatura do ar é a temperatura de bulbo seco (TBS) em contato com o corpo humano. A NBR 15220-1/2005 destaca que a TBS deve ser “medida por um termômetro com dispositivo de proteção contra a influência da radiação térmica”.

Büneker (2012) afirma que o conforto térmico é um fator fundamental na vida dos seres humanos, o qual favorece um satisfatório período de repouso e descanso. Segundo a autora, os ambientes com índices de baixo conforto podem ser responsáveis pelo cansaço, baixa produtividade e debilidade física.

Estudos realizados pela Comissão Americana de Ventilação comprovaram que as condições térmicas do ambiente podem influenciar diretamente no rendimento de trabalho de um operário. De acordo com o estudo, a variação de

temperatura de 20°C para 24°C pode diminuir o rendimento do trabalho físico em 15% (FROTA; SCHIFFER, 2003).

Os materiais construtivos possuem grande influência no desempenho térmico e energético de uma edificação. Devido a isso, torna-se necessário conhecer as trocas de energia da edificação com o meio externo, visando a adequação do projeto para atendimento a requisitos de conforto térmico. De acordo com Büneker (2003), o profissional responsável pelo planejamento de uma edificação pode interceder em algumas variáveis, visando favorecer o conforto térmico do ambiente através de implantação de aberturas para entradas e saídas de ar e utilização de materiais que possam contribuir para esse conforto. Os fatores bioclimáticos devem ser levados em consideração durante a elaboração de um projeto de uma residência familiar, buscando atingir condições de conforto e economia no consumo de energia elétrica. Costa (1982, p. 221) corrobora essa afirmação e menciona:

No mínimo uma melhoria substancial do conforto térmico do interior das habitações pode ser obtida economicamente com o uso de técnicas construtivas simples, mais racionais, que visem ao aproveitamento das condições favoráveis da natureza para o condicionamento ambiental.

Para o autor, a edificação pode ser projetada adotando-se alguns recursos que favoreçam o conforto térmico, tais como a proteção ou o aproveitamento da insolação, formas de ventilação dos ambientes e de neutralizar as variações de temperatura. O desconforto térmico das edificações em períodos quentes do ano tem como causa principal a insolação. Para a alvenaria, a proteção pode ser realizada através de pintura com tintas de coloração clara, sombreamento por intermédio de brises e vegetação, e através do isolamento térmico com materiais isolantes. Enquanto que para a estrutura de cobertura, a proteção pode ser feita com a implantação de telhas de coloração clara, forro e materiais isolantes. Essas mesmas soluções também podem ser adotadas para proteção da estrutura dos contêineres, visando melhorar o conforto térmico interno (KOSKI, 2014).

A NBR 16401-2/2008 destaca alguns parâmetros capazes de produzir conforto térmico para as pessoas. A Tabela 2 apresenta os parâmetros determinados pela norma, baseados na American Society of Heating, Refrigerating

and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), relacionando temperatura operativa e umidade relativa do ar para períodos de verão e inverno.

Tabela 2 – Parâmetros de conforto

	Temperatura operativa	Umidade relativa
Verão	22,5°C a 25,5°C	65%
	23,0°C a 26,0°C	35%
Inverno	21,0°C a 23,5°C	60%
	21,5°C a 24,0°C	30%

Fonte: Adaptado de NBR 16401-2/2008.

A temperatura operativa (TO) “indica a sensação de calor ou frio sentida pelo corpo de um ser humano, combinando num único número os efeitos da temperatura de bulbo seco, umidade relativa e velocidade do ar” (PEREIRA, p. 14, 2004).

Alguns autores destacam parâmetros de temperatura interna que consideram adequadas para as pessoas. Segundo Madruga (2016, p. 39):

Para dias de verão as temperaturas do ar no interior da residência com longos períodos de ocupação, sem qualquer fonte de calor, devem ser menores do que a temperatura do ar externa na sombra. Já para o inverno o contrário, a temperatura do ar interior da residência com longos períodos de ocupação sem qualquer fonte de calor, devem ser superiores a 3°C da temperatura mínima externa.

Almeida, Reinaldo e Silva (2016) corroboram essa afirmação quando dizem que o valor máximo diário de temperatura no interior da edificação, sem a presença de ocupantes e equipamentos, deve ser igual ou menor ao maior valor registrado de temperatura no ambiente externo.

A norma NBR 15575-1/2013 destaca os critérios de desempenho térmico que devem ser atendidos para dias de verão, conforme Tabela 3, comparando a temperatura externa máxima ($T_{e,max}$) e a temperatura interna máxima ($T_{i,max}$) do ambiente. Os níveis apresentados pela norma são classificados em mínimo (M), intermediário (I) e superior (S), destacando que apenas os níveis I e S são recomendados para conforto dos usuários.

Tabela 3 – Critérios de desempenho térmico

Nível de desempenho	Zonas bioclimáticas 1 a 7	Zona bioclimática 8
M	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
I	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^{\circ}\text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 1^{\circ}\text{C})$
S	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4^{\circ}\text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^{\circ}\text{C})$

Fonte: Adaptado de NBR 15575-1/2013.

2.4.1 Transferências de calor

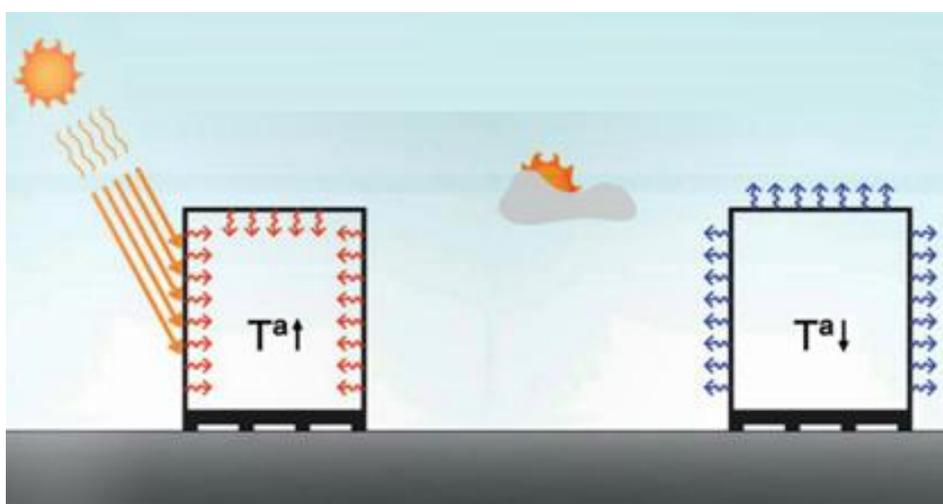
De acordo com Frota e Schiffer (2003), as transferências de calor entre corpos são causadas devido às diferenças de temperatura entre eles. O corpo mais quente perde calor enquanto o mais frio ganha. Com a troca térmica, a temperatura final dos corpos deve ficar igualada.

As trocas de calor são realizadas por meio de mecanismos físicos de convecção, radiação e condução. Convecção é caracterizada pela transferência de calor entre corpos em estados físicos diferentes, sendo um no estado sólido e o outro no estado fluído (gasoso ou líquido). A radiação é o procedimento que envolve corpos capazes de emitir e absorver energia, separados a certa distância. Já a condução é o método de troca de calor que acontece quando dois corpos são colocados em contato ou quando o mesmo corpo possui partes ou faces com temperaturas distintas (FROTA; SCHIFFER, 2003).

Os autores afirmam ainda que nas edificações, as trocas de energia ocorrem por meio dos fechamentos opacos e transparentes, de acordo com a temperatura interna e externa do ambiente, fatores de absorvância, emissividade, transmitância e intensidade da radiação solar, além das características e propriedades térmicas da materialidade construtiva. Os fechamentos opacos são aqueles que impedem a entrada direta da radiação solar para a edificação. Nesse caso, a troca térmica do ambiente externo e interno ocorre devido à diferença de temperatura das superfícies externa e interna do módulo. Já os fechamentos transparentes são todos elementos que permitem a transmissão direta de calor para o ambiente interno, como janelas e portas de vidro.

O contêiner é formado por elementos em aço, caracterizado principalmente por absorver facilmente o calor através da radiação. Quando o material é exposto à incidência solar, sua superfície externa aquece e transfere calor para a superfície interna, aquecendo o interior do módulo. Quando não há incidência solar sobre o contêiner, os elementos esfriam tão rapidamente quanto aquecem. A Figura 15 apresenta o comportamento térmico de um contêiner sem um sistema de isolamento térmico.

Figura 15 – Comportamento térmico dos contêineres.



Fonte: www.issuu.com

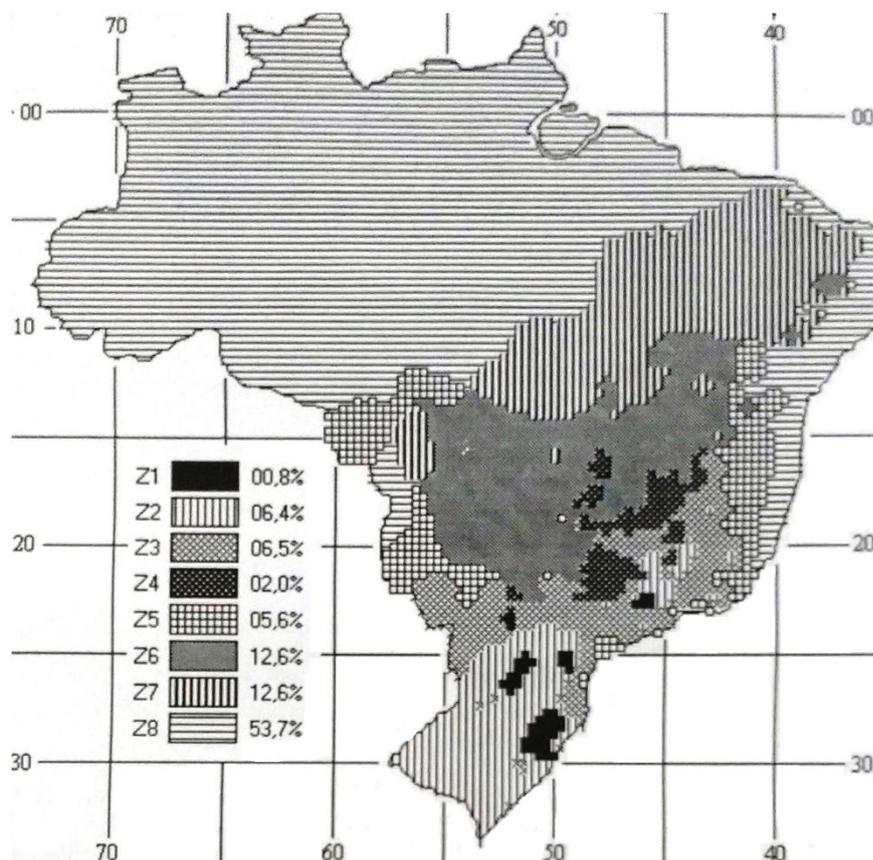
2.4.2 Avaliação do desempenho térmico

De acordo com a NBR 15220-3/2005, o processo de avaliação do desempenho térmico de edificações pode ser realizado nas etapas de projeto ou após a construção da edificação. Para a fase de projeto, são realizadas simulações computacionais e análises dos processos construtivos, enquanto que para a construção finalizada, podem ser realizadas medições *in loco* de temperatura.

A norma apresenta uma divisão do território brasileiro em oito zonas bioclimáticas, conforme Figura 16, agrupando as regiões de acordo com as condições do clima. Essa classificação possibilita a identificação dos problemas climáticos, apresentando para cada uma das zonas, recomendações técnicas que

podem ser adotadas durante a fase de projeto, visando garantir condições de conforto térmico.

Figura 16 – Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: NBR 15220-3/2005.

Na Figura 16, é possível observar que a zona bioclimática predominante no estado do Rio Grande do Sul é a zona 2. O anexo A da norma 15220-3/2005 classifica algumas cidades do Brasil de acordo com o clima e indica em qual zona bioclimática a cidade pertence. A Tabela 4 apresenta a classificação de algumas cidades do estado do RS, estando essas enquadradas nas zonas 1, 2 ou 3.

Tabela 4 – Relação de cidades e zonas bioclimáticas

Cidade	Zona Bioclimática
Alegrete	2
Bagé	2
Bom Jesus	1
Caxias do Sul	1
Passo Fundo	2

Pelotas	2
Porto Alegre	3
Rio Grande	3
Santa Maria	2
São Francisco de Paula	1
Torres	3
Uruguaiana	2

Fonte: Adaptado de NBR 15220-3/2005.

Os parâmetros informados pela norma que devem ser considerados na etapa de projeto para avaliação do desempenho térmico referem-se ao tamanho das aberturas para ventilação; proteção das aberturas; vedações externas (tipo de parede externa e tipo de cobertura); e estratégias de condicionamento térmico passivo.

Para as vedações externas, a norma indica a necessidade de se considerar as propriedades de resistência térmica, transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator de ganho de calor dos componentes e elementos construtivos para definições de projeto.

2.4.2.1 Resistência térmica

De acordo com a NBR 15220-1/2005, a resistência térmica é a razão entre a variação de temperatura das superfícies externa e interna de um componente ou elemento construtivo pela densidade de fluxo de calor. Assim, a resistência é definida como a dificuldade de transmissão de calor de uma superfície para a outra do elemento.

Para as edificações que apresentam câmaras de ar não ventiladas, a norma indica valores de resistência térmica para paredes e coberturas, conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Resistência térmica superficial

	Rsi (m².K)/W	Rse (m².K)/W
Paredes	0,13	0,04
Cobertura	0,17	0,04

Fonte: Adaptado de NBR 15220-2/2005.

- **Resistência térmica de um componente plano homogêneo ou heterogêneo (R_t)**

Os componentes homogêneos são aqueles que são formados por um único material ou elemento, por exemplo, o contêiner bruto. Já os componentes heterogêneos são aqueles formados por mais de um elemento.

$$R_t = R_{ar} + \sum \left(\frac{e}{\lambda} \right) \quad \text{ou} \quad R_t = \sum \left(\frac{e}{\lambda} \right)$$

Onde:

e = Espessura da camada do material

λ = Condutividade térmica do material

R_{ar} = Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas

- **Resistência térmica de um componente heterogêneo plano ou com diferentes seções (R_t)**

$$R_t = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}}$$

Onde:

R_a, R_b = Resistência térmica do componente

A_a, A_b = Área de cada seção

- **Resistência térmica total (R_T)**

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se}$$

Onde:

R_t = Resistência térmica do componente

R_{si} = Resistência superficial interna

R_{se} = Resistência superficial externa

2.4.2.2 Transmitância térmica

A transmitância térmica pode ser definida como sendo a quantidade de calor transmitida de uma superfície para a outra de um elemento construtivo por uma área de 1 m² em uma unidade de tempo. Essa propriedade é calculada a partir da resistência térmica do componente, conforme fórmula apresentada baixo (NBR 15220-1/2005).

$$U = \frac{1}{R_T}$$

Onde:

R_T = Resistência térmica total

2.4.2.3 Capacidade térmica

Conforme a NBR 15220-1/2005, a capacidade térmica é a “quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema”.

- **Capacidade térmica de um componente plano homogêneo ou heterogêneo (C_T)**

$$C_T = \sum (e_i \cdot c_i \cdot \rho_i)$$

Onde:

e_i = Espessura do material

c_i = Calor específico do material

ρ_i = Densidade de massa aparente do material

2.4.2.4 Atraso térmico

O atraso térmico é definido como o tempo que o calor transmitido na superfície de um elemento leva para manifestar-se na superfície oposta. Essa propriedade varia conforme a capacidade térmica dos elementos que fazem parte do fechamento da edificação e da ordem em que estão dispostas (NBR 15220-1/2005).

- **Atraso térmico – elemento heterogêneo (φ)**

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2}$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t}$$

$$B_0 = C_T - C_{T_{ext}}$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left(\frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{ext}}{R_t} \right) \cdot \left(\frac{R_{ext}}{1} - \left(\frac{R_t - R_{ext}}{10} \right) \right)$$

Onde:

R_t = Resistência térmica do componente

C_T = Capacidade térmica do componente

$C_{T_{ext}}$ = Capacidade térmica da camada externa do componente

ρ = Densidade do material da camada externa

c = Calor específico do material da camada externa

λ = Condutividade térmica do material da camada externa

R_{ext} = Resistência térmica do material da camada externa

- **Atraso térmico – elemento homogêneo (φ)**

$$\varphi = 0,7284 \cdot \sqrt{R_t \cdot C_T}$$

2.4.2.5 Fator de ganho de calor solar

A norma NBR 15220-1/2005 destaca a existência de dois fatores de ganho de calor nas edificações, sendo um deles em elementos opacos (FS_o) e o outro em elementos transparentes e translúcidos (FS_t). O fator solar está relacionado à taxa

de radiação incidida no componente e as parcelas absorvidas, refletidas e retransmitidas para seu interior (no caso de elementos transparentes).

A Tabela 6 apresenta valores admissíveis de transmitância térmica, atraso térmico e fator solar de elementos opacos para vedações externas das edificações, determinados pela norma NBR 15220-3/2005.

Tabela 6 – Parâmetros admissíveis para cada tipo de vedação externa

Vedações externas		Transmitância térmica – U W/m ² .K	Atraso térmico – φ h	Fator solar - FS _o %
Paredes	Leve	$U \leq 3,00$	$\varphi \leq 4,3$	FS _o ≤ 5,0
	Leve refletora	$U \leq 3,60$	$\varphi \leq 4,3$	FS _o ≤ 4,0
	Pesada	$U \leq 2,20$	$\varphi \geq 6,5$	FS _o ≤ 3,5
Coberturas	Leve isolada	$U \leq 2,00$	$\varphi \leq 3,3$	FS _o ≤ 6,5
	Leve refletora	$U \leq 2,30.FT$	$\varphi \leq 3,3$	FS _o ≤ 6,5
	Pesada	$U \leq 2,00$	$\varphi \geq 6,5$	FS _o ≤ 6,5

Fonte: Adaptado de NBR 15220-3/2005.

A norma define o tipo de vedação externa para cada zona bioclimática do país, conforme apresenta a Tabela 7.

Tabela 7 – Vedações externas

	Parede	Cobertura
Zona 1	Leve	Leve isolada
Zona 2	Leve	Leve isolada
Zona 3	Leve refletora	Leve isolada
Zona 4	Pesada	Leve isolada
Zona 5	Leve refletora	Leve isolada
Zona 6	Pesada	Leve isolada
Zona 7	Pesada	Pesada
Zona 8	Leve refletora	Leve refletora

Fonte: Adaptado de NBR 15220-3/2005.

2.4.2.6 Programa *EnergyPlus*

A avaliação do desempenho térmico por meio de simulações computacionais permite identificar como será o comportamento térmico da edificação, considerando diferentes cenários. Conforme Machado (2015), a simulação permite modelar condicionantes de clima, materialidade, fatores de ocupação e equipamentos, podendo favorecer a construção de uma edificação eficiente com redução de gastos em energia.

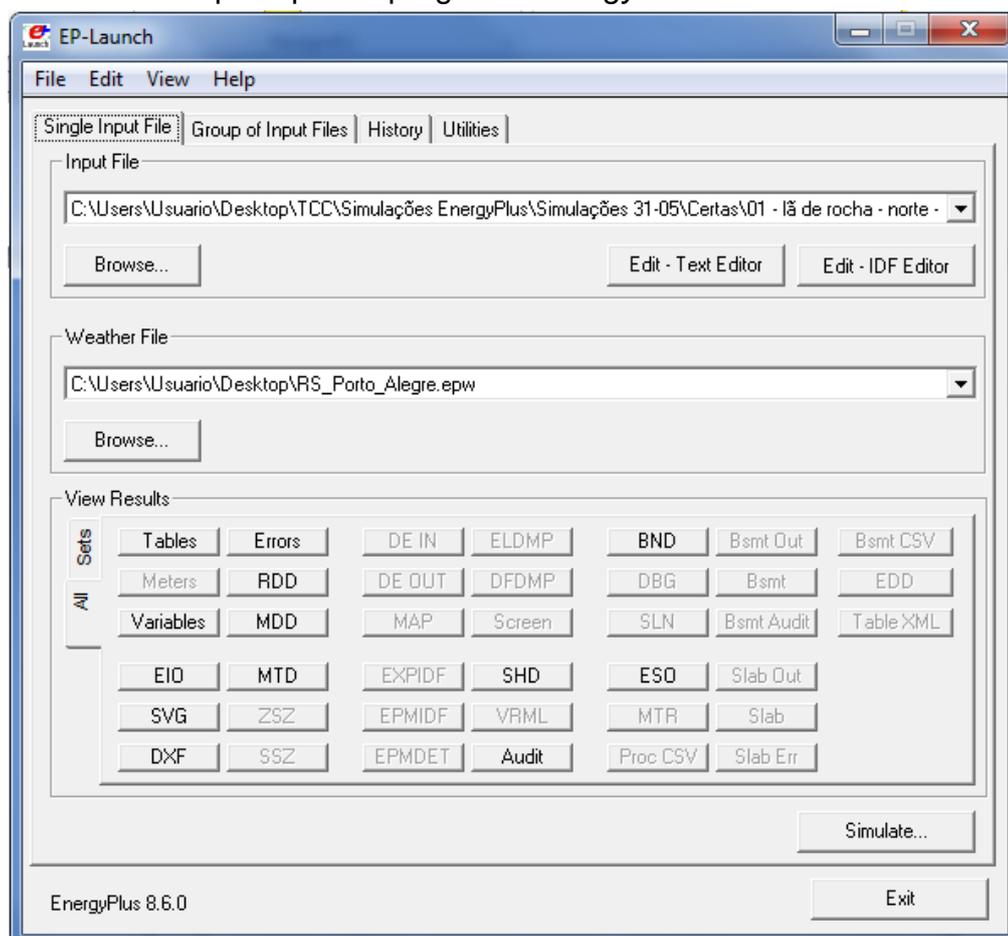
O *software EnergyPlus* é um dos programas existentes no mercado que permite realizar simulações de carga térmica e eficiência energética. De acordo com Machado (2015 apud Brofman, 2014, p.15):

O *EnergyPlus* é um programa de análise de consumo energético de edificações capaz de modelar as 8760 horas de um ano com variações de ocupação, potência de iluminação, equipamentos, sistema de HVAC, efeitos de inércia térmica e é validado pela norma ASHRAE 140. O programa é capaz de modelar aquecimento, arrefecimento, ventilação e outras correntes energéticas levando em consideração os consumos de energia e calculando as cargas térmicas necessárias para se atingir as temperaturas estabelecidas em controle.

A simulação do programa *EnergyPlus* é executada através de uma interface principal (EP-Launch), conforme mostra a Figura 17.

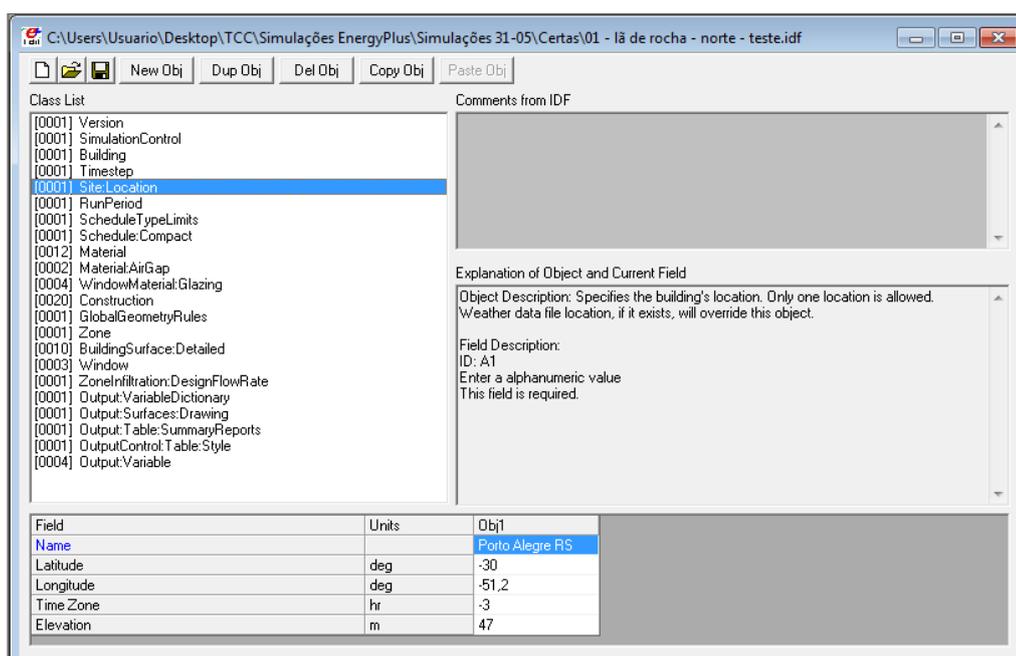
A construção e modelagem da edificação são realizadas no sistema de edição do programa (Edit – IDF Editor), de acordo com a Figura 18. Nessa etapa são informadas todas as características e propriedades dos materiais construtivos, como condutividade térmica, densidade de massa aparente e calor específico, além de parâmetros do ambiente que influenciam na simulação térmica, como a taxa de ventilação.

Figura 17 – Interface principal do programa *EnergyPlus*



Fonte: Da autora (2017).

Figura 18 – Sistema de edição de dados do EnergyPlus



Fonte: Da autora (2017).

Alguns autores determinam, dentre os 365 dias do ano, quais podem ser escolhidos para análise térmica. Pereira (2005, p. 70), em seus estudos sobre comportamento termoenergético destaca que escolheu trabalhar com simulações de dias de projeto, sendo quatro dias de verão: 21 de dezembro, 21 de janeiro, 21 de fevereiro e 21 de março.

Os dados de dias de projeto de verão são rigorosamente iguais, porém as datas determinam posições solares diferentes, de modo que, por exemplo, em Porto Alegre, no mês de março, no qual ocorre o equinócio de outono, há uma maior insolação diária nas fachadas norte do que em dezembro, quando ocorre o solstício de verão.

Madruga (2016, p. 87) destaca a possibilidade de adotar também dias significativos para análise térmica. Segundo o autor, “a norma NBR 15575/2013 determina que deva ser adotado como dia típico a data em que possuir a maior temperatura em uma hora do dia no ano para o verão e a menor temperatura do ano para o inverno”.

- **Condutividade térmica**

Propriedade física do material definida como sendo um fluxo de calor que atravessa uma determinada área de uma parede em um dado período de tempo. Essa propriedade varia de acordo com a densidade, natureza química e umidade do material (FROTA; SCHIFFER, 2003).

- **Densidade de massa aparente**

Conforme a NBR 15220-1/2005, a densidade de massa aparente é o quociente da massa pelo volume aparente do elemento.

- **Calor específico**

O calor específico é o quociente da capacidade térmica pela massa do componente (NBR 15220-1/2005).

- **Taxa de ventilação**

Segundo a NBR 15220-1/2005, é a “vazão de ar exterior que circula por um ambiente através de aberturas intencionais”.

2.4.2.7 Medições *in loco*

O processo de medições *in loco* de temperatura em edificações busca analisar as condições térmicas do ambiente e verificar se os requisitos definidos em norma para desempenho térmico estão sendo atendidos adequadamente. As medições de temperatura e umidade do ar podem ser realizadas por meio de termômetros, com ou sem proteção contra a radiação térmica.

As medições permitem verificar na prática, a sensação térmica sentida pelos usuários do ambiente, porém, não há uma precisão nos resultados obtidos, devido as influências do meio externo. Conforme Madruga (2016, p. 39), “realizar as medições *in loco* de forma confiável, é uma tarefa difícil pela dificuldade de controlar as condições do local”.

2.5 Isolamento térmico de edificações

O isolamento térmico tem como objetivo controlar as condições térmicas de um ambiente perante as variações climáticas do meio externo. No Brasil, onde o clima quente é predominante ao longo do ano, a absorção de calor da edificação devido à radiação solar exige que métodos de isolamento sejam implantados, com vistas ao conforto dos usuários (MASCARÓ; MASCARÓ, 1988).

De acordo com Costa (2003), os materiais utilizados no isolamento térmico de habitações apresentam baixa condutividade térmica e geralmente são materiais porosos, no qual a alta resistência térmica é oriunda da baixa condutividade do ar compreendida nos espaços vazios. Dessa forma, quanto mais poroso e menos denso for o material, maior será seu fator de isolamento.

O sistema de isolamento térmico é formado por meio da combinação entre as paredes da edificação e o material isolante. Esse material é fixado na parede com o auxílio de perfis metálicos, sendo envolvido por placas de gesso cartonado, *drywall*, entre outros (KOSKI, 2014). De acordo Salgado (2014), a execução e aplicação do isolamento térmico em edificações devem ser realizados por profissionais especializados nessas atividades.

A NBR 15220-2/2005 apresenta as propriedades térmicas dos materiais usados no isolamento térmico de edificações, indicando para cada um dos materiais, sua densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c).

De acordo com Costa (2003), a qualidade do isolamento térmico é comprovada quando o material atende alguns requisitos essenciais, dentre os quais estão a resistência mecânica e a resistência à temperatura do ambiente, além disso, deve impedir a propagação de chamas e ser inatacável por pragas.

O isolamento térmico de uma residência construída em um contêiner acaba sendo uma das etapas mais importantes para ser realizada, visto que o aço, material no qual o contêiner é formado, apresenta alto fator de condução de calor (KOSKI, 2014).

A NBR 15220-2/2005 também apresenta algumas propriedades térmicas do aço, assim como de outros materiais usados na construção civil, conforme Tabela 8.

Tabela 8 – Propriedades dos materiais

Materiais	ρ (kg/m³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))	e (m)
Bloco cerâmico	1300-1600	0,90	0,92	0,10
Argamassa	1800-2100	1,15	1,00	0,025
Concreto	2200-2400	1,75	1,00	0,20
Telha cerâmica	1300-1600	0,90	0,92	0,008
Aço	7800	55	0,46	0,002
Gesso cartonado	750-1000	0,35	0,84	0,0125
Madeira	450-550	0,12	2,30	0,02
Lã de rocha	20-200	0,045	0,75	0,050
Lã de vidro	10-100	0,045	0,70	0,050
Poliestireno expandido moldado	15-35	0,040	1,42	0,050
Poliestireno extrudado	25-40	0,035	1,42	0,050
Espuma rígida de poliuretano	30-40	0,030	1,67	0,050

Fonte: Adaptado de NBR 15220-2/2005.

A seguir serão apresentados alguns materiais isolantes térmicos e suas características físicas apresentadas pelas empresas Neotérmica e EPS Brasil.

2.5.1 Lã de rocha

A lã de rocha (FIGURA 19) é um material isolante com características termo-acústicas fabricada a partir de fibras minerais de rocha vulcânica, com adição de resinas e aditivos especiais. Os gases que resultam da produção desse material são filtrados e tratados, a fim de garantir menores danos ao meio ambiente.

Figura 19 – Lã de rocha



Fonte: www.neotermica.com.br

Dentre as características principais da lã de rocha, podem-se destacar:

- Baixa condutividade térmica;
- Utilização em ambientes com temperaturas entre -200°C e 750°C ;
- Resistência ao fogo, ou seja, não queima sobre a ação desse fenômeno;
- Não é combustível;
- Pode isolar em até 100% o ambiente de ruídos externos;
- Não sofre deterioração com o tempo.

A lã de rocha é utilizada para isolamento de coberturas, paredes, dutos de ar condicionado, partes internas de tubulações, entre outros, e são fornecidas em mantas, painéis e tubos.

2.5.2 Lã de vidro

A lã de vidro (FIGURA 20) é fabricada a partir de filamentos de vidro com adições de resinas, silicones e outros componentes, sendo usada para isolamento térmico de ambientes e equipamentos industriais, além de isolamento acústico. O material possui características muito semelhantes da lã de rocha mencionada anteriormente, entretanto, diferencia-se na densidade, sendo menos densa que a lã de rocha e na propriedade de resistência a altas temperaturas, indicada para uso em ambientes com temperatura de até 450°C.

Figura 20 – Lã de vidro

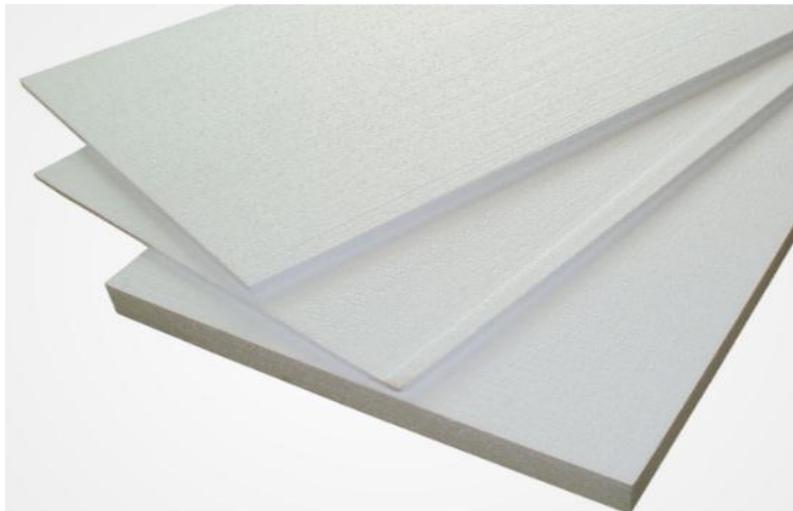


Fonte: www.neotermica.com.br

2.5.3 Poliestireno expandido

O poliestireno expandido (EPS) ou isopor (FIGURA 21) é um produto derivado do petróleo, utilizado para isolamento térmico de tubulações, dutos de ar condicionado, geladeiras industriais, câmaras frigoríficas, telhas, coberturas, paredes e caminhões tanques, utilizado em ambientes que apresentam temperatura máxima de 74°C.

Figura 21 – Poliestireno expandido (EPS)



Fonte: www.solucoesindustriais.com.br

As principais características a serem destacadas desse material são:

- Resistência química e mecânica;
- Baixo peso;
- Baixa absorção de água;
- Fácil manuseio;
- Reciclável.

2.5.4 Poliestireno extrudado

O poliestireno extrudado (XPS) é uma espuma rígida derivada do petróleo com propriedades de isolamento térmico, acústico e proteção mecânica, que proporciona maior vida útil ao material (FIGURA 22).

Figura 22 – Poliestireno extrudado



Fonte: www.grazimac.pt

É um produto resistente de fácil manuseio e aplicação, utilizado para isolamento de coberturas, telhados, dutos de ar condicionado, paredes externas e internas, além de pisos industriais, forros, entre outros. Suas principais características são:

- Baixo teor de absorção de água;
- Retarda a propagação de chamas;
- Utilização em ambientes com temperatura entre -50°C e 75°C ;
- Inatacável por pragas.

2.5.5 Espuma rígida de poliuretano

A espuma rígida de poliuretano (FIGURA 23) é um material usado no isolamento térmico de edificações, telhas, coberturas, tubulações, entre outros, formado a partir da reação química entre compostos orgânicos, que juntamente com um gás expensor, faz com que o material tenha alto fator de isolamento, devido à baixa densidade e baixa condutividade térmica. O material possui características e propriedades semelhantes ao material isolante EPS e é indicado para uso em ambiente com temperatura máxima de 105°C .

Figura 23 – Espuma rígida de poliuretano



Fonte: www.geraescontainers.com.br

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Esse trabalho foi desenvolvido através de procedimentos e testes experimentais, os quais permitiram verificar o desempenho térmico de edificações em contêiner combinando diferentes isolantes térmicos, assim como realizar uma comparação entre essas edificações e uma edificação convencional em alvenaria. De acordo com Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa experimental tem como finalidade demonstrar as causas de ocorrência de um fato com auxílio de equipamentos e instrumentos de precisão. Para Gil (2012), a pesquisa experimental consiste na definição de um objeto de estudo, identificação de fatores possíveis de influenciá-lo e constatação de formas de controle. Quanto ao modo de abordagem, a pesquisa tem caráter quantitativo, a qual possibilita a classificação dos dados, pois traduz as informações obtidas na pesquisa em números (PRODANOV; FREITAS, 2013).

As análises de desempenho térmico foram baseadas em simulações computacionais, por meio do software EnergyPlus (versão 8.6.0), disponível no site www.energyplus.gov. O programa permite desenvolver estudos relacionados à melhorias na eficiência energética de edificações, possibilitando modelar edificações completas, considerando diferentes dimensões, fechamentos opacos e transparentes, equipamentos elétricos, taxa de ocupação, taxa de ventilação, entre outros.

Nesse trabalho foram realizadas simulações para identificar o comportamento térmico de edificações em contêiner com isolamentos térmicos determinados pela NBR 15220-2/2005, a fim de verificar se essas edificações atendem aos

requisitos de conforto térmico estabelecidos pelas normas em vigor. Além disso, realizou-se a simulação de uma edificação convencional em alvenaria, com o objetivo de comparar os resultados obtidos com as edificações em contêiner.

Para isso, analisou-se a temperatura operativa do interior de cada edificação e a variação de temperatura dos ambientes externo e interno dos modelos construtivos. Esses resultados foram expressos pelo programa *EnergyPlus* em tabelas, apresentando informações horárias de 365 dias.

Além disso, para cada modelo construtivo foram calculadas as propriedades de transmitância térmica e atraso térmico das paredes e coberturas, visando determinar se essas propriedades estão em conformidade com os valores admissíveis pela norma NBR 15220-3/2005.

Para realizar as simulações térmicas, é necessário introduzir ao programa dados climáticos da região no qual o estudo será realizado. No site oficial do programa, é possível obter arquivos climáticos em formato EPW (*EnergyPlus Weather*) de diversas cidades do mundo. Dentre os arquivos encontrados das cidades do estado do Rio Grande do Sul, nesse trabalho optou-se pela utilização de dados climáticos da cidade de Porto Alegre.

Para verificar se os resultados expressos no programa estavam representando de forma satisfatória a eficiência térmica das edificações, foram realizadas medições *in loco* de temperatura e umidade do ar no interior de contêineres com e sem isolamento térmico, assim como da temperatura e umidade externa do ambiente. Os contêineres estavam localizados na cidade de Colinas/RS e Lajeado/RS, respectivamente.

O equipamento usado nas medições foi o controlador e indicador digital de temperatura e umidade, modelo MT-530 R da marca Full Gauge Controls, conforme Figura 24, que realiza medições da temperatura operativa (TO) e umidade relativa do ar.

Figura 24 – Equipamento MT-530 R



Fonte: Da autora (2017).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise computacional

A Tabela 9 apresenta as combinações de materialidades aplicadas no programa *EnergyPlus*, para determinação das temperaturas internas de cada modelo.

Tabela 9 – Combinações de materialidades construtivas

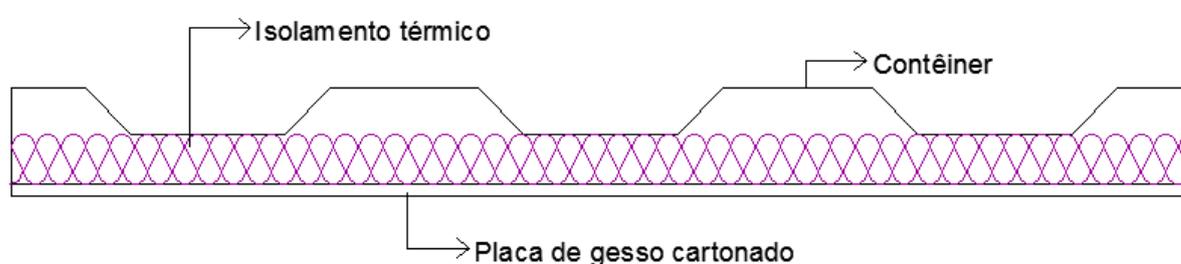
Combinação	Materialidades
I	Paredes em bloco cerâmico Revestimento em argamassa Cobertura em telha cerâmica Laje maciça de concreto
II	Contêiner
III	Contêiner Isolamento em lã de rocha Acabamento em gesso cartonado
IV	Contêiner Isolamento em lã de vidro Acabamento em gesso cartonado
V	Contêiner Isolamento em poliestireno expandido moldado Acabamento em gesso cartonado
VI	Contêiner Isolamento em poliestireno extrudado Acabamento em gesso cartonado
VII	Contêiner Isolamento em espuma rígida de poliuretano Acabamento em gesso cartonado

Fonte: Da autora (2017).

As propriedades de cada material necessárias para as simulações térmicas foram obtidas na NBR 15220-2/2005, já apresentadas anteriormente na Tabela 8, e as espessuras definidas de acordo com padrões estabelecidos pelos fabricantes.

Nas simulações térmicas das edificações em contêiner, foram considerados valores de resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas (R_{ar}) nas paredes e tetos, entre o aço e o isolamento térmico, conforme Figura 25, devido às ondulações da superfície do contêiner.

Figura 25 – Corte esquemático



Fonte: Da autora (2017).

Os valores foram obtidos na NBR 15520-2/2005, considerando superfície de alta emissividade e espessura da câmara maior que 5 cm. Para o fluxo de calor horizontal utilizou-se R_{ar} igual a $0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ e para o fluxo descendente $0,21 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

As dimensões das edificações simuladas no *EnergyPlus* foram baseadas nas dimensões do contêiner *High Cube* de 40', que apresenta 12,19 m de comprimento, 2,44 m de largura e 2,90 m de altura. A caracterização geométrica de cada superfície da edificação foi inserida no programa através de coordenadas, conforme Tabela 10. A tabela apresenta um modelo construtivo com a fachada de 12,19 m voltada para a orientação solar norte.

Tabela 10 – Coordenadas do modelo construtivo

	P. Sul	P. Leste	P. Norte	P. Oeste	Cobertura	Piso
1 X:	0	12,19	12,19	0	0	0
1 Y:	0	0	2,44	2,44	2,44	0
1 Z:	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	0
2 X:	0	12,19	12,19	0	0	0
2 Y:	0	0	2,44	2,44	0	2,44
2 Z:	0	0	0	0	2,90	0
3 X:	12,19	12,19	0	0	12,19	12,19
3 Y:	0	2,44	2,44	0	0	2,44
3 Z:	0	0	0	0	2,90	0
4 X:	12,19	12,19	0	0	12,19	12,19
4 Y:	0	2,44	2,44	0	2,44	0
4 Z:	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	0

Fonte: Da autora (2017).

Nessas simulações foram dimensionados fechamentos transparentes nas fachadas norte e sul da edificação, conforme apresenta a Tabela 11. O programa contém arquivos com características e propriedades padrões de diversos tipos de vidros. Escolheu-se para as edificações o vidro claro de 3 mm de espessura, que apresenta 0,9 W/m.K de condutividade térmica.

Tabela 11 – Fechamentos transparentes

Fachada	Dimensões da janela
Norte	2m x 1,2m
Norte	0,4m x 0,4m
Sul	2m x 1,2m

Fonte: Da autora (2017).

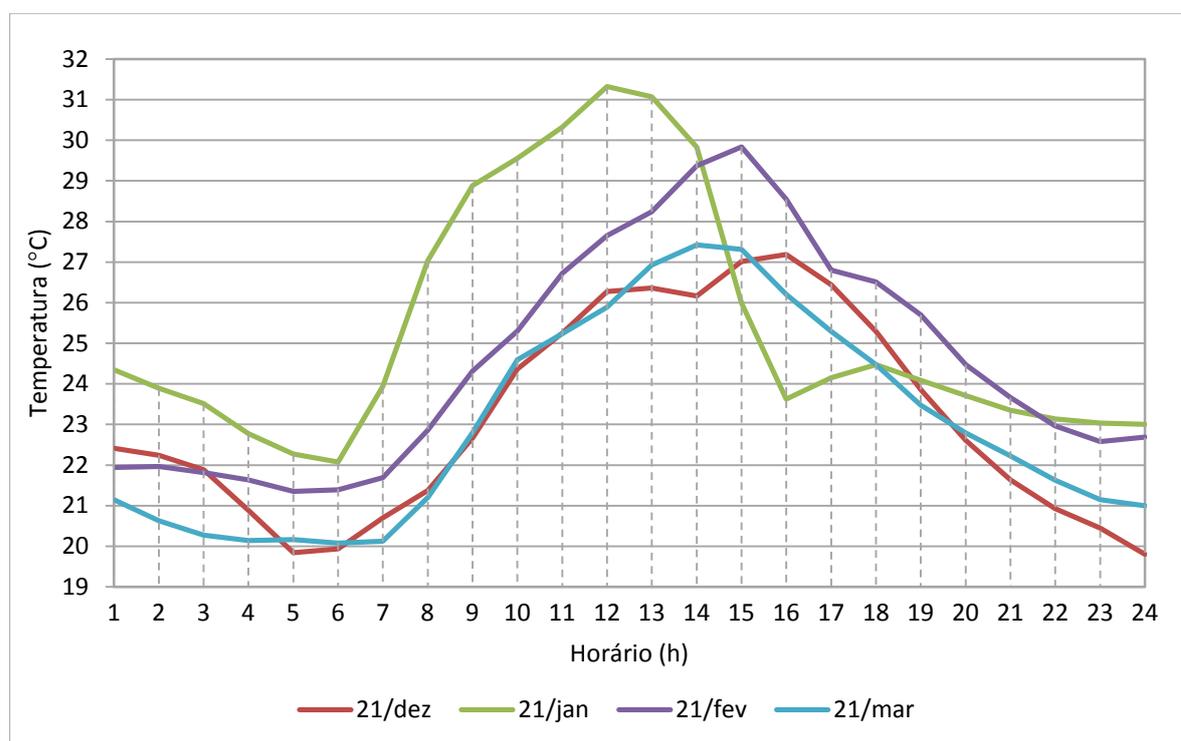
Adicionou-se às edificações uma taxa de ventilação, a qual foi definida pelo método simplificado de cálculo de Lamberts (2006), sendo a razão entre o volume total da edificação e o tempo. O autor considera que “todo o volume de ar da zona é trocado uma vez a cada hora”, por isso, usou-se 3600 s na variável tempo. A taxa de ventilação resultante foi igual a 0,0239 m³/s.

O programa *EnergyPlus* permite indicar em que período do dia ocorre à troca de ar com o meio externo. Nesse trabalho foram realizadas simulações considerando troca de ar entre às 08h e 20h, durante 365 dias do ano.

4.1.1 Análise térmica em dias de projeto

Para as análises foram definidos os dias de projeto conforme descrito por Pereira (2005), sendo os dias 21 de dezembro, 21 de janeiro, 21 de fevereiro e 21 de março. Os resultados de temperatura do ar externo apresentados pelo programa para essas datas estão apresentados no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Temperaturas externas em dias de projeto



Fonte: Da autora (2017).

A temperatura máxima registrada em cada dia de projeto está apresentada na Tabela 12. Esses valores serão comparados com as temperaturas máximas internas das edificações, a fim de determinar se atendem aos critérios da norma NBR 15575-1/2013, apresentados anteriormente na Tabela 3.

Tabela 12 – Temperatura máxima em dias de projeto

Dia	Temperatura máxima (Te,max)
21/dezembro	27,19 °C
21/janeiro	31,33 °C
21/fevereiro	29,84 °C
21/março	27,43 °C

Fonte: Da autora (2017).

Os resultados de temperatura dos ambientes internos das edificações analisadas nesse trabalho serão apresentados de acordo com as combinações de materialidades construtivas descritas anteriormente. Nas representações gráficas, as combinações de materialidades serão nomeadas conforme Tabela 13.

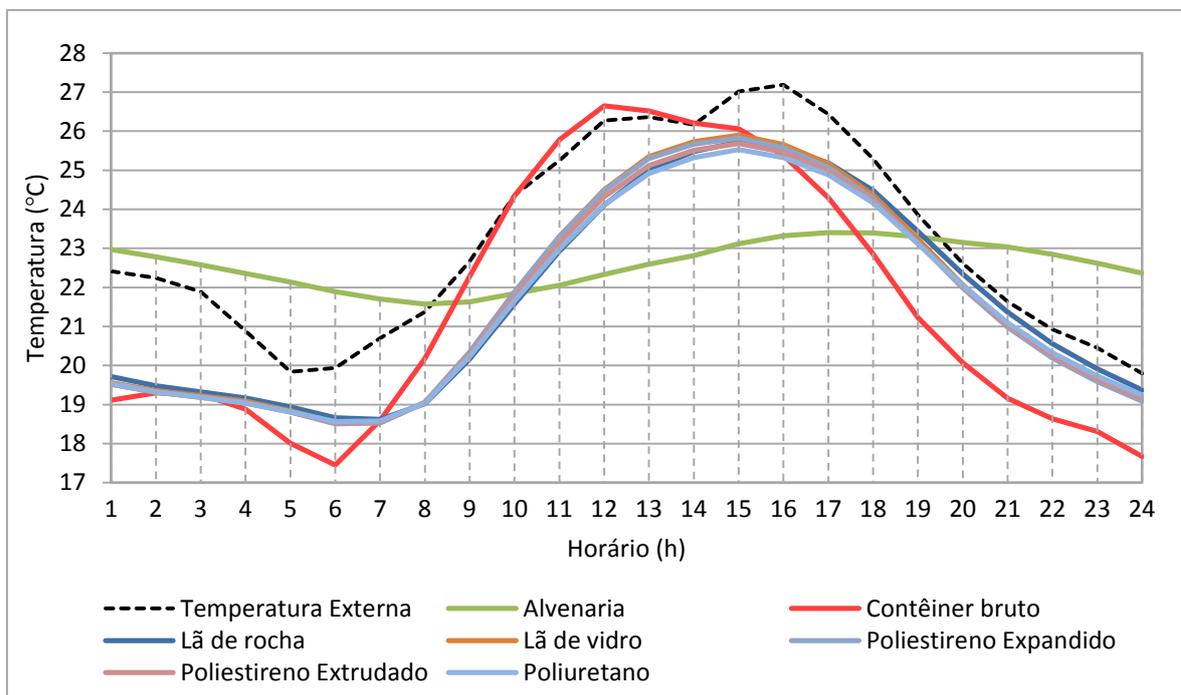
Tabela 13 – Nomenclatura das materialidades

Combinação	Materialidades	Nomenclatura
I	Paredes em bloco cerâmico Revestimento em argamassa Cobertura em telha cerâmica Laje maciça de concreto	Alvenaria
II	Contêiner	Contêiner bruto
III	Contêiner Isolamento em lã de rocha Acabamento em gesso cartonado	Lã de rocha
IV	Contêiner Isolamento em lã de vidro Acabamento em gesso cartonado	Lã de vidro
V	Contêiner Isolamento em poliestireno expandido moldado Acabamento em gesso cartonado	Poliestireno expandido
VI	Contêiner Isolamento em poliestireno extrudado Acabamento em gesso cartonado	Poliestireno extrudado
VII	Contêiner Isolamento em espuma rígida de poliuretano Acabamento em gesso cartonado	Poliuretano

Fonte: Da autora (2017).

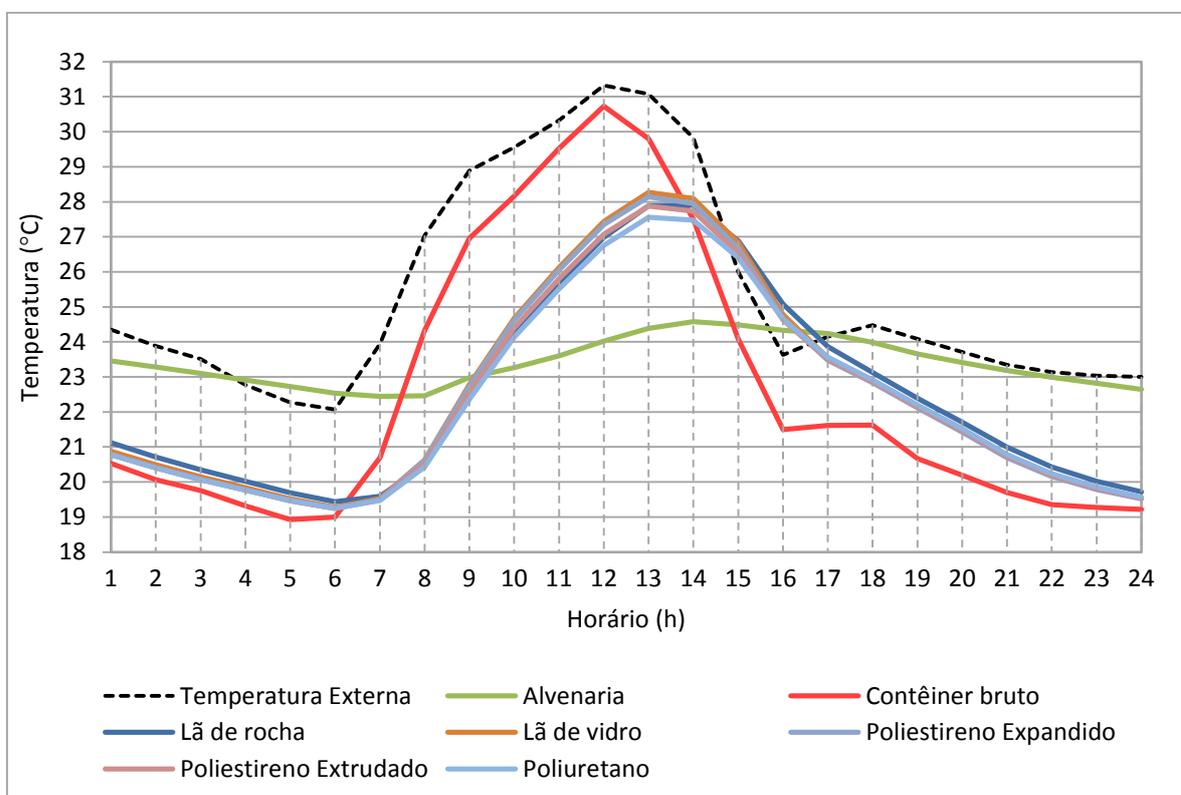
Os Gráficos 2, 3, 4 e 5 apresentam os resultados de temperatura do ar no interior das edificações nos dias de projeto.

Gráfico 2 – Temperaturas no dia 21 de dezembro



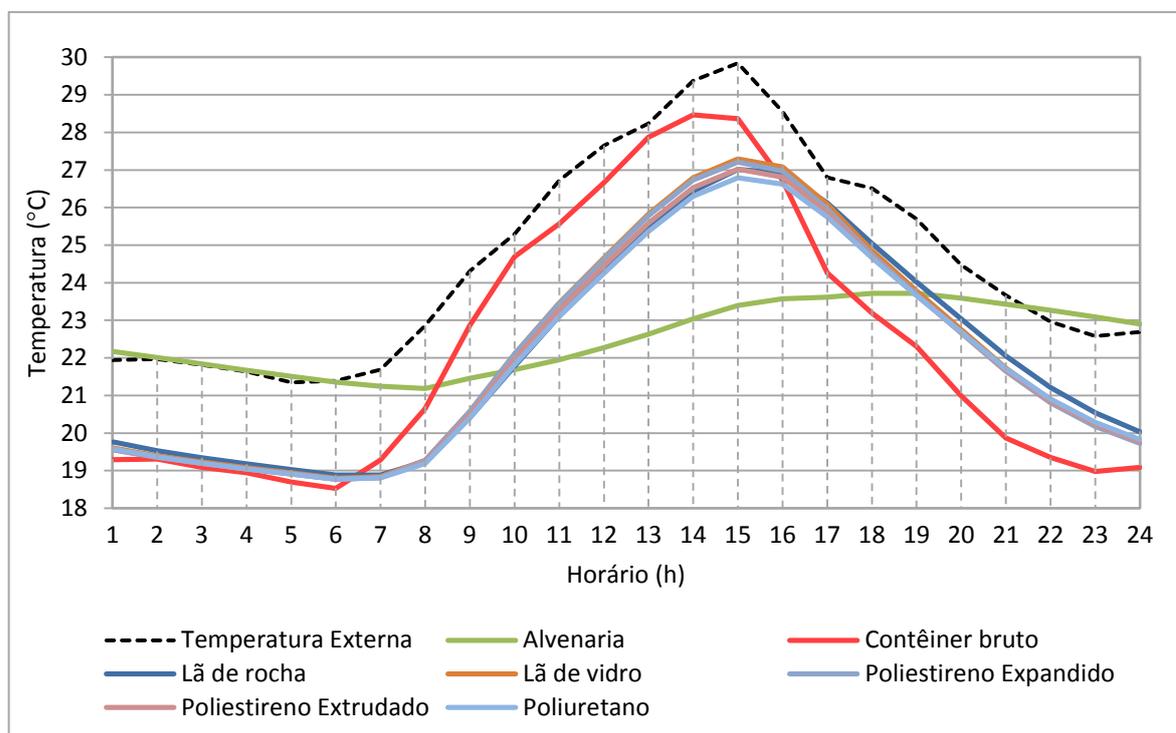
Fonte: Da autora (2017).

Gráfico 3 – Temperaturas no dia 21 de janeiro



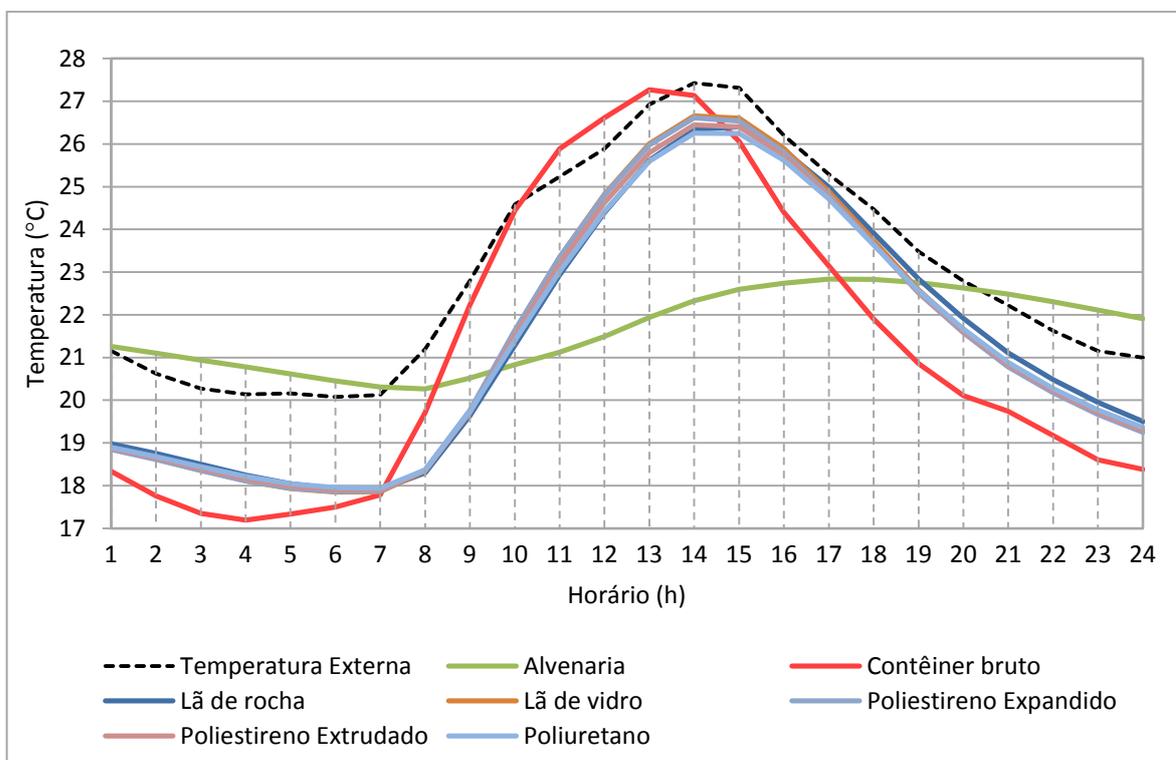
Fonte: Da autora (2017).

Gráfico 4 – Temperaturas no dia 21 de fevereiro



Fonte: Da autora (2017).

Gráfico 5 – Temperaturas no dia 21 de março



Fonte: Da autora (2017).

A partir da análise dos gráficos acima foi criada a Tabela 14, que apresenta as temperaturas máximas registradas no interior de cada edificação nos dias de projeto. Importante destacar que os cinco contêineres com isolamento térmico apresentaram resultados muito semelhantes de temperatura interna, tendo uma variação máxima de 1°C.

Tabela 14 – Temperatura máxima em dias de projeto

Edificação	Temperatura máxima °C (Ti,max)			
	21/dez	21/jan	21/fev	21/mar
Alvenaria	23,41	24,58	23,72	22,83
Contêiner bruto	26,65	30,73	28,46	27,27
Lã de rocha	25,72	27,89	27,01	26,40
Lã de vidro	25,90	28,27	27,29	26,66
Poliestireno Expandido	25,82	28,15	27,21	26,61
Poliestireno Extrudado	25,69	27,87	27,02	26,44
Poliuretano	25,52	27,56	26,80	26,25

Fonte: Da autora (2017).

Comparando os resultados das Tabelas 12 e 14, foi possível determinar em que nível de conforto as edificações se enquadraram em dias de projeto, de acordo com a norma NBR 15575-1/2013, classificando em nível mínimo (M), nível intermediário (I) e nível satisfatório (S). Os resultados estão expressos na Tabela 15.

Tabela 15 – Temperatura máxima em dias de projeto

Edificação	Nível de conforto			
	21/dez	21/jan	21/fev	21/mar
Alvenaria	I	S	S	S
Contêiner bruto	M	M	M	M
Lã de rocha	M	I	I	M
Lã de vidro	M	I	I	M
Poliestireno Expandido	M	I	I	M
Poliestireno Extrudado	M	I	I	M
Poliuretano	M	I	I	M

Fonte: Da autora (2017).

Nessa tabela é possível observar que os contêineres com isolamento térmico apresentaram nível de conforto mínimo nos dias 21 de dezembro e 21 de março, e nível de conforto intermediário nos dias 21 de janeiro e 21 de fevereiro. A norma

indica que apenas os níveis intermediário e satisfatório são recomendados para conforto térmico dos usuários. Para o nível mínimo, é indicada implantação de sistemas de ventilação, climatização de ar, brises ou outras formas passivas para melhorar o desempenho térmico das edificações.

Já a edificação em alvenaria apresentou nos quatro dias de projeto níveis favoráveis de desempenho térmico, enquanto o contêiner bruto não atendeu níveis recomendados de conforto.

4.1.2 Análise térmica em dias significativos

Nas Tabelas 16 e 17 estão expressos os resultados de temperatura externa para os dias significativos, que segundo Madruga (2016), referem-se aos dias de maior e menor temperatura registrada. Nesse trabalho, optou-se por definir os dias significativos entre o período de 21 de dezembro e 21 de março.

A partir da análise foi possível determinar os dias 08 de janeiro e 11 de março, como dias de maior e menor temperatura registrada no ambiente externo. O primeiro atingiu temperatura de 37,25°C e o segundo temperatura de 15,18°C.

Tabela 16 – Dia de maior temperatura

Horário	Temperatura (°C)	Horário	Temperatura (°C)
	08/jan		08/jan
01h	24,34	13h	35,34
02h	24,24	14h	36,48
03h	24,08	15h	37,25
04h	24,00	16h	35,78
05h	23,56	17h	31,18
06h	23,36	18h	27,50
07h	25,90	19h	25,73
08h	28,46	20h	25,20
09h	30,41	21h	25,26
10h	32,01	22h	25,36
11h	32,94	23h	25,53
12h	34,26	24h	25,60

Fonte: Da autora (2017).

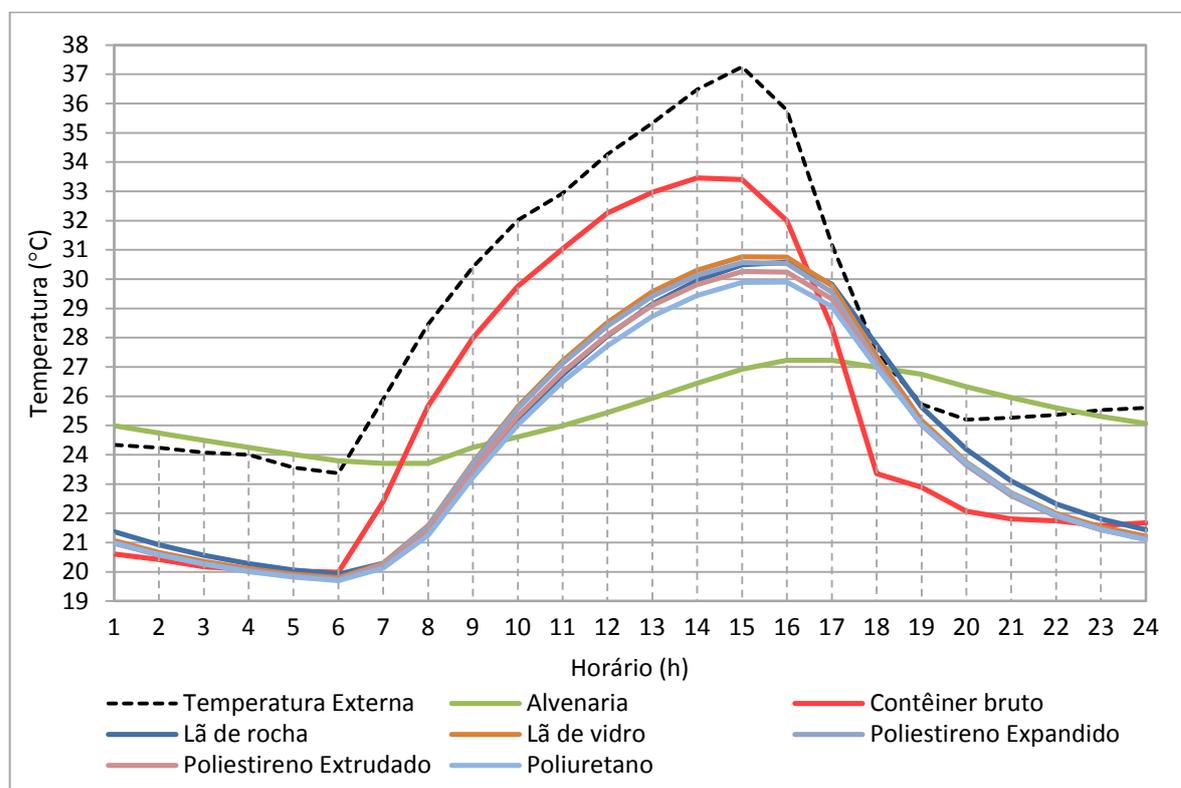
Tabela 17 – Dia de menor temperatura

Horário	Temperatura (°C)		Horário	Temperatura (°C)	
	11/mar			11/mar	
01h	17,05		13h	26,18	
02h	16,48		14h	26,84	
03h	16,46		15h	27,10	
04h	15,94		16h	26,85	
05h	15,41		17h	25,76	
06h	15,18		18h	24,33	
07h	15,91		19h	22,93	
08h	18,46		20h	21,84	
09h	20,83		21h	21,38	
10h	22,75		22h	21,11	
11h	24,31		23h	20,56	
12h	25,43		24h	19,93	

Fonte: Da autora (2017).

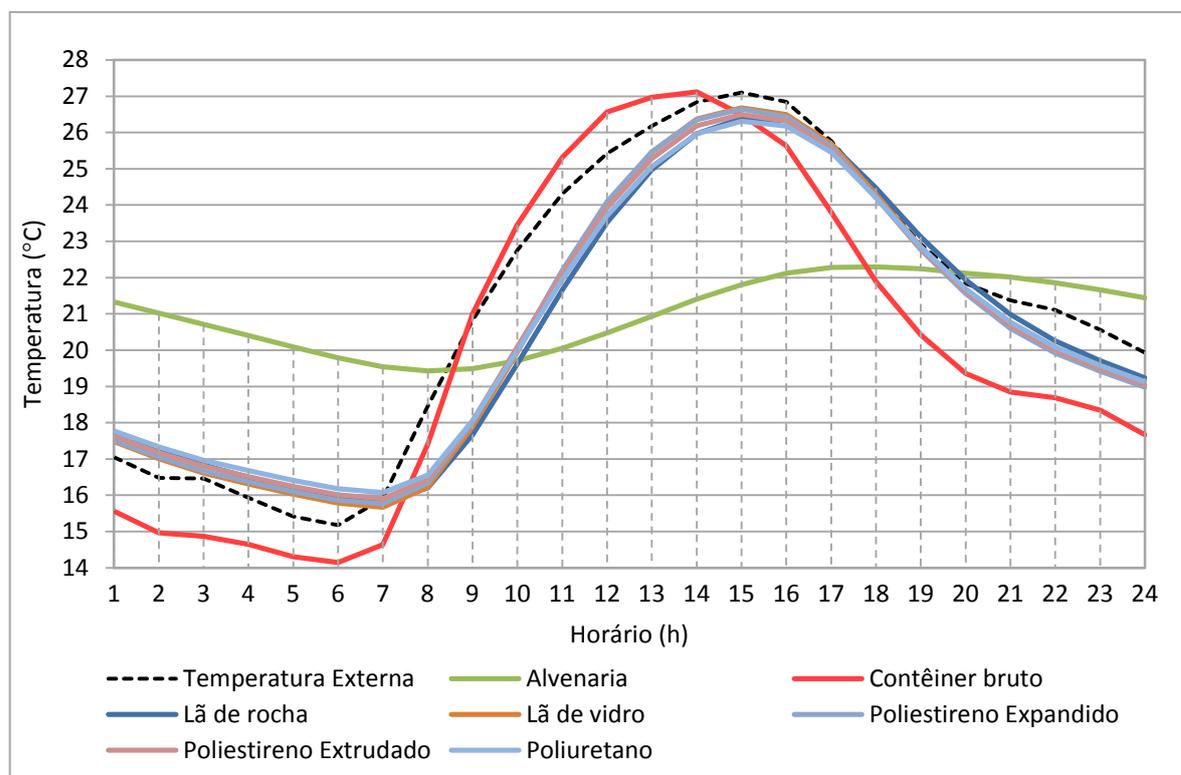
Os Gráficos 6 e 7 apresentam os resultados de temperatura do ar no interior de cada edificação nos dias significativos já mencionados.

Gráfico 6 – Temperaturas das edificações no dia 08 de janeiro



Fonte: Da autora (2017).

Gráfico 7 – Temperaturas das edificações no dia 11 de março



Fonte: Da autora (2017).

A Tabela 18 apresenta as temperaturas máximas registradas no interior de cada edificação nos dias 08 de janeiro e 11 de março, assim como o nível de conforto térmico, determinados conforme a norma NBR 15575-1/2013, considerando temperatura externa máxima de 37,25 °C e 27,10 °C, para os dias 08 de janeiro e 11 de março, respectivamente.

Tabela 18 – Temperatura interna máxima e nível de conforto

Edificação	08/janeiro		11/março	
	Temperatura máxima °C (Ti,max)	Nível de conforto	Temperatura máxima °C (Ti,max)	Nível de conforto
Alvenaria	27,22	S	22,30	S
Contêiner bruto	33,46	I	27,12	-
Lã de rocha	30,58	S	26,39	M
Lã de vidro	30,76	S	26,68	M
Poliestireno Expandido	30,57	S	26,64	M
Poliestireno Extrudado	30,26	S	26,49	M
Poliuretano	29,90	S	26,31	M

Fonte: Da autora (2017).

Nessa tabela é possível observar que no dia 08 de janeiro, dia de maior temperatura externa registrada, as edificações em contêiner apresentaram nível satisfatório de conforto térmico, pois atenderam ao critério estabelecido na norma NBR 15575-1/2013, entretanto, no dia 11 de março, essas mesmas edificações atingiram nível mínimo de conforto. Novamente, as cinco edificações com isolamento térmico apresentarem resultados muito próximos, comprovando que a eficiência dos isolamentos para esse tipo de aplicação é muito semelhante.

A edificação em alvenaria destacou-se com melhores resultados de desempenho térmico para ambos os dias analisados.

Já o contêiner bruto, no dia 11 de março não atingiu o mínimo necessário para conforto, porém, no dia 08 de janeiro, registrou temperatura interna máxima de 33,46°C, que apesar de ser uma temperatura relativamente alta e desconfortável termicamente, ficou ainda 3,79°C mais baixa que a temperatura externa máxima registrada, enquadrando-se dessa forma, no nível de conforto intermediário.

4.2 Características térmicas dos materiais

Foram realizados cálculos de transmitância térmica e atraso térmico das materialidades das edificações estudadas, visando verificar o comportamento térmico e determinar se essas características atendem as recomendações de valores admissíveis estabelecidos pela norma NBR 15220-3/2005. As fórmulas usadas para essas determinações foram obtidas na NBR 15220-2/2005.

4.2.1 Transmitância térmica

Para determinar a transmitância térmica do componente de fechamento da edificação (paredes e cobertura), foi necessário calcular a resistência térmica de cada material que faz parte do fechamento e realizar o somatório com a resistência térmica superficial interna (R_{si}) e externa (R_{se}), definidas pela norma NBR 15220-2/2005.

No cálculo da resistência térmica para as edificações em contêiner, também foram considerados valores de resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas (Rar), assim como foram usados nas simulações no *EnergyPlus*. Para o fluxo de calor horizontal utilizou-se Rar igual a 0,17 m².K/W e para o fluxo descendente 0,21 m².K/W.

As edificações em contêiner que apresentam câmaras de ar não ventiladas foram divididas em duas seções, tendo em vista que a espessura da parede varia ao longo do comprimento e largura da edificação. A edificação em alvenaria também foi dividida em duas seções, visto que em alguns pontos a espessura total da parede é formada por reboco, cerâmica e reboco, enquanto que em outros é formada por reboco e argamassa, no qual ambos possuem as mesmas propriedades e por isso, considera-se como sendo um único material.

Na Tabela 19 estão apresentados os resultados de resistência térmica total dos componentes das edificações, tanto das paredes quanto das coberturas.

Tabela 19 – Resistência térmica total

Edificação	Paredes (m².K)/W	Cobertura (m².K)/W
Contêiner bruto	0,1700	0,2100
Lã de rocha	1,3960	1,5669
Lã de vidro	1,3960	1,5669
Poliestireno Expandido	1,5358	1,7058
Poliestireno Extrudado	1,7147	1,8843
Poliuretano	1,9534	2,1224

Fonte: Da autora (2017).

A transmitância térmica do fechamento lateral e superior da edificação é calculada a partir da resistência térmica total. Na Tabela 20 estão expressos os resultados para as edificações estudadas nesse trabalho.

Tabela 20 – Transmitância térmica

Edificação	Paredes W/(m².K)	Cobertura W/(m².K)
Contêiner bruto	5,8811	4,7611
Lã de rocha	0,7163	0,6382
Lã de vidro	0,7163	0,6382
Poliestireno Expandido	0,6513	0,5863
Poliestireno Extrudado	0,5832	0,5307
Poliuretano	0,5119	0,4712

Fonte: Da autora (2017).

A partir dos resultados de transmitância térmica das paredes e cobertura das edificações em contêiner e analisando também os parâmetros admissíveis estabelecidos em norma, é possível afirmar que todas as edificações com isolamento térmico atenderam aos requisitos da NBR 15220-3/2005. Entretanto, o contêiner sem isolamento não atendeu, ficando seus resultados superiores ao limite de 3,60 W/(m².K) para paredes e 2,00 W/(m².K) para a cobertura.

4.2.2 Atraso térmico

Para definir o atraso térmico das paredes e cobertura de cada edificação foi necessário calcular a capacidade térmica de cada componente dos fechamentos. Nesse cálculo foi desprezada a capacidade térmica da câmara de ar, conforme recomendação da norma, e por isso, para as edificações em contêiner utilizou-se a fórmula descrita para componentes plano homogêneo ou heterogêneo.

A Tabela 21 apresenta os resultados obtidos para atraso térmico das edificações, os quais estão expressos em hora (h).

Tabela 21 – Atraso térmico

Edificação	Paredes (h)	Cobertura (h)
Contêiner bruto	0,0118	0,0118
Lã de rocha	2,6	2,8
Lã de vidro	2,4	2,6
Poliestireno Expandido	2,6	2,7
Poliestireno Extrudado	2,8	2,9
Poliuretano	3,1	3,2

Fonte: Da autora (2017).

As edificações em contêiner com isolamento térmico atenderam aos requisitos da norma de desempenho, a qual determinada valores máximos de atraso térmico para paredes igual a 4,3h e para cobertura igual a 3,3h.

Nessa situação, observa-se que o contêiner bruto sem isolamento térmico também se enquadrou nesses parâmetros, porém, os valores baixos resultantes dos cálculos dessa edificação mostram que o período de tempo para o calor transmitido na superfície externa se manifestar na superfície interna é extremamente curto, sendo aproximadamente de 42s, comprovando a alta taxa de absorção e dissipação de calor do aço.

4.3 Medições *in loco*

As medições *in loco* foram realizadas com o equipamento MT-530 R da marca Full Gauge Controls, já descrito anteriormente, com a finalidade de verificar a coerência dos resultados expressos no *software EnergyPlus*. Para isso, foram realizadas medições de temperatura e umidade do ar em dois contêineres, visando identificar a variação da temperatura do ambiente externo e interno de cada modelo.

O primeiro contêiner de 40' (FIGURA 26) apresenta isolamento térmico em lã de rocha, acabamento em gesso cartonado e está localizado na cidade de Colinas/RS, na Rua Parobé, 1600, Centro.

Figura 26 – Contêiner com isolamento térmico usado nas medições *in loco*



Fonte: Da autora (2017).

O segundo contêiner no qual foram realizadas as medições de temperatura não possuía isolamento térmico (FIGURA 27) e esta localizado na cidade de Lajeado/RS, na Avenida Senador Alberto Pasqualini.

Figura 27 – Contêiner sem isolamento térmico usado nas medições *in loco*



Fonte: Da autora (2017).

Ambos os contêineres estavam posicionados com sua maior fachada voltada para posição solar oeste com incidência solar, e por isso, as medições foram realizadas às 15h, durante 10 dias nos meses de abril e maio de 2017. As medições de temperatura foram realizadas em dias que apresentavam temperatura externa superior a 27°C. Os resultados das medições de temperatura do ar e umidade relativa do ar estão apresentados nas tabelas 22 e 23.

Tabela 22 – Medições *in loco* - contêiner sem isolamento térmico

Data	Temperatura Externa (°C)	Umidade Externa	Temperatura Interna (°C)	Umidade Interna
19/04	34,3	33,4	33,7	35,1
20/04	30,1	31,8	28,7	37,0
21/04	29,5	35,9	28,1	34,2
25/04	30,2	42,0	28,9	38,9
27/04	27,7	29,8	24,7	34,3
28/04	33,2	28,0	28,0	35,0
02/05	34,9	35,6	31,1	38,0
03/05	30,6	40,3	27,3	31,5
04/05	29,1	42,9	27,9	29,9
08/05	33,3	38,1	31,6	31,2

Fonte: Da autora (2017).

Tabela 23 – Medições *in loco* - contêiner com isolamento térmico

Data	Temperatura Externa (°C)	Umidade Externa	Temperatura Interna (°C)	Umidade Interna
19/04	35,0	27,9	31,5	42,1
20/04	30,3	42,0	27,8	52,5
21/04	28,4	39,3	25,5	53,0
25/04	31,5	48,0	26,9	48,3
27/04	29,9	27,4	23,5	41,9
28/04	32,5	28,7	23,2	46,8
02/05	35,4	30,1	26,2	60,5
03/05	31,1	43,7	26,5	58,6
04/05	28,9	43,2	23,1	48,9
08/05	33,0	41,5	28,3	41,5

Fonte: Da autora (2017).

Os resultados das medições *in loco* mostram que o contêiner com isolamento térmico apresentou redução de temperatura comparando o ambiente externo ao

ambiente interno, porém, não é possível atestar a confiabilidade dos resultados obtidos, devido às influências do ambiente que não puderam ser controladas, como infiltração de ar, ventilação natural ou artificial, entre outros. Porém, é perceptível a variação de temperatura do contêiner sem isolamento térmico para o contêiner isolado com lã de rocha, mostrando que o isolamento contribui para a redução da transmissão de calor do ambiente externo para o interno.

5 CONCLUSÃO

As edificações em contêiner estão cada vez mais sendo executadas no Brasil, conforme a ideia de utilização de um material reciclado como estrutura principal de residências se torna mais popularizada. Mas para isso, a edificação precisa proporcionar condições semelhantes às edificações convencionais já existentes, como resistência, confiabilidade, eficiência e conforto térmico e acústico.

Por isso, torna-se extremamente válido estudar e analisar o comportamento térmico dessas edificações, visando determinar a qualidade do conforto proporcionado aos usuários, tendo em vista que a estrutura é formada em aço e apresenta altos índices de condução de calor, o que caracteriza no aquecimento mais acelerado do ambiente interno da edificação.

Os resultados das análises de desempenho térmico das edificações em contêiner por meio de simulações computacionais, medições *in loco* de temperatura e umidade do ar, e cálculos para definir propriedades de transmitância térmica e atraso térmico das materialidades construtivas, permitiram confirmar os pressupostos de que o contêiner pode oferecer condições adequadas de conforto térmico.

Nos experimentos foi possível verificar que nos dias de projetos e dias significativos analisados, os contêineres com isolamento térmico demonstraram comportamento semelhantes entre si e satisfatórios de conforto, pois atenderam aos requisitos estabelecidos pelas normas NBR 15220-3/2005 e 15575-1/2013, no que diz respeito aos limites aceitáveis de temperatura interna, transmitância térmica e atraso térmico.

Apesar das medições *in loco* de temperatura e umidade do ar não apresentarem dados confiáveis para atestar realmente o nível de conforto oferecido pelos contêineres, permitiram ao menos confirmar que o isolamento térmico reduz a transmissão de calor do ambiente externo para o ambiente interno, por meio da superfície da edificação.

A pesquisa foi de grande importância para confirmar que o contêiner com isolamento térmico apresenta condições favoráveis de conforto para edificações residenciais, embora ainda seja possível melhorar o seu desempenho térmico através de implantação de telhado verde, brises, aumento da espessura do isolamento ou da taxa de ventilação.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220-1** – Desempenho térmico de edificações: Parte 2: Definições, símbolos e unidades: ABNT, 2005.

_____. **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: ABNT, 2005.

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

_____. **NBR 15575-1** – Edificações habitacionais - Desempenho: Parte 1: Requisitos gerais: ABNT, 2013.

_____. **NBR 16401-2** – Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários: Parte 2: Parâmetros de conforto térmico: ABNT, 2008. Disponível em: <www.demec.ufpr.br>. Acesso em: 10 maio 2017.

ALMEIDA, Ygor F. de; REINALDO, Raydel L.; SILVA, Liliane F. G. da. Análise de desempenho térmico de edificações: um estudo de caso na cidade de Palmas, TO. **ENTAC**. XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo, p. 428-438, 2016. Disponível em: <www.infohab.org.br>. Acesso em: 28 out. 2016.

BALTAR, Marta G. **Redução da demanda de energia elétrica utilizando parâmetros construtivos visando o conforto térmico**. 2006. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006. Disponível em: <www.tede2.pucrs.br>. Acesso em: 20 mar. 2017.

BANDEIRA, Denise L.; BECKER, João L.; BORENSTEIN, Denis. Sistema para distribuição integrada de contêineres cheios e vazios. **Produção**, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 452-468, 2008. Disponível em: <www.scielo.org>. Acesso em: 17 set. 2016.

BÜNEKER, Adriana de O. B. **Ventilação natural**. 2003. Monografia (Especialização) - Curso de Pós-Graduação em Arquitetura, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2003.

_____. **Influência da transmitância térmica do vidro no consumo de energia para o conforto ambiental - estudo de caso**. 2012. Monografia (Especialização) - Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Sustentabilidade e Eficiência Energética em Edificações, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2012.

COSTA, Ennio C. da. **Arquitetura ecológica: condicionamento térmico natural**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1982.

_____, Ennio C. da. **Física aplicada à construção: conforto térmico**. 4. ed. rev. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2003.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: <www.epe.gov.br>. Acesso em: 29 out. 2016.

FONSECA, Ingrid C. L. da et al. Avaliações de conforto ambiental e eficiência energética do projeto do prédio do Centro de Informações do Cresesb, no Rio de Janeiro. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 41-58, 2010. Disponível em: <www.seer.ufrgs.br>. Acesso em: 29 out. 2016.

FLORIM, Leila C.; QUELHAS, Osvaldo L. G. Contribuição para a construção sustentável: características de um projeto habitacional eco-eficiente. **ENGEVISTA**, Niterói, v. 6, n. 3, p. 121-132, 2004. Disponível em: <www.uff.br/engevista>. Acesso em: 29 jul. 2016.

FROTA, Anésia. B.; SCHIFFER, Sueli R. **Manual de conforto térmico**. - 8. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

GARRIDO, Luis de. **Green container architecture 3**. 1. ed. Barcelona: Instituto Monsa, 2015. Disponível em: <www.issuu.com> Acesso em: 24 out. 2016.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

GERDAU. **Aços patináveis**. Disponível em: <www.gerdau.com>. Acesso em 17 jul. 2017.

KOSKI, Gabriela A. **A adaptação do contêiner na arquitetura residencial: o estudo de tipologias flexíveis e modulares**. 2014. Monografia (Graduação) – Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Vila Velha, Vila Velha, 2014. Disponível em: <www.issuu.com>. Acesso em: 11 ago. 2016.

KREBS, Lisandra F.; MOURA, Paula W.; CUNHA, Eduardo G. da. Habitação e container: um estudo paramétrico para a zona bioclimática 3. **Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 4, n. esp, p. 90-101, 2015. Disponível em: <www.portaldeperioridos.unisul.br>. Acesso em: 14 out. 2016.

MASCARÓ, Juan L.; MASCARÓ, Lúcia. **Uso racional de energia em edificações: isolamento térmico**. São Paulo: Agência para Aplicação de Energia, 1988.

LAMBERTS, Roberto Lamberts. Introdução ao EnergyPlus. Laboratório de Eficiência Energética. Universidade de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

MADRUGA, Emerson L. **Desempenho térmico: comparativo de edificações em *light steel framing* com edificações em bloco cerâmico através de simulação computacional**. 2016. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <www.lume.ufrgs.br>. Acesso em: 20 mar. 2017.

MIKHAILOVA, Irina. Sustentabilidade: evolução dos conceitos teóricos e os problemas da mensuração prática. **Revista Economia e Desenvolvimento**. Santa Maria, n. 16, p. 22-41, 2004. Disponível em: <www.periodicos.ufsm.br>. Acesso em: 29 out. 2016.

OCCHI, Tailene; ALMEIDA, Caliane C. O. de; ROMANINI, Anicoli. Reutilização de containers de armazenamento e transporte como espaços modulados na arquitetura. **Portal de Conferências IMED**. IX Mostra de Iniciação Científica e Extensão Comunitária e VIII Mostra de Pesquisa de Pós-Graduação da IMED, Passo Fundo, 2015. Disponível em: <www.soac.imed.edu.br>. Acesso em 29 out. 2016.

PEREIRA, Alfredo C. **Simulação dinâmica do comportamento termo-higrométrico de superfícies radiantes hidráulicas para aquecimento e arrefecimento ambiental**. Porto - Portugal: 2004. Disponível em: <www.get.pt>. Acesso em 10 maio 2017.

PEREIRA, Fábbyo. L., **Determinação computacional da influência de parâmetros físicos no comportamento termoenergético de uma edificação**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Disponível em: <www.lume.ufrgs.br>. Acesso em 10 maio 2017.

PRODANOV, Cleber C.; FREITAS, Ernani C. de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. Ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

REIS, Antônio. Aparência, qualidade e habitação sustentável. **ENTAC**. IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Foz do Iguaçu, p. 1105-1112, 2002. Disponível em: <www.infohab.org.br>. Acesso em: 24 out. 2016.

ROMANO, Leonora; PARIS, Sabine R. de; NEUENFELDT JÚNIOR, Alvaro L. Retrofit de contêineres na construção civil. **Labor & Engenho**, Campinas, v. 8, n. 1, p. 83-92, 2014. Disponível em: <www.conpadre.org>. Acesso em: 17 set. 2016.

SALGADO, Julio C. P. **Técnicas e práticas construtivas para edificação**. 3. ed. rev. São Paulo: Érica, 2014.

SCHMID, Aloísio L. **A idéia de conforto**: reflexões sobre o ambiente construído. Curitiba: Pacto Ambiental, 2005.

SOUZA, Iran L. S. **T-house**: casa contêiner. 2015. Monografia (Graduação) – Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015. Disponível em: <www.monografias.ufrn.br>. Acesso em: 11 ago. 2016.