



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

NATHÁLIA STÉFANNI STAACKS

**CARACTERIZAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE PAINEL SANDUÍCHE
PARA APLICAÇÃO EM VEDAÇÃO EXTERNA HOSPITALAR**

Palmas, 2023

NATHÁLIA STÉFANNI STAACKS

**CARACTERIZAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE PAINEL SANDUÍCHE
PARA APLICAÇÃO EM VEDAÇÃO EXTERNA HOSPITALAR**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel no Curso
Superior de Engenharia Civil do Instituto
Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Tocantins, Campus
Palmas.

Orientadora: Dra. Liliane Flávia
Guimarães da Silva

Palmas, 2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

S775c Staacks, Nathália Stéfanni
 CARACTERIZAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE PAINEL
 SANDUÍCHE PARA APLICAÇÃO EM VEDAÇÃO EXTERNA
 HOSPITALAR / Nathália Stéfanni Staacks. – Palmas, TO, 2023.
 55 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus
Palmas, Palmas, TO, 2023.

Orientadora: Dra. Liliane Flávia Guimarães da Silva

1. Desempenho térmico. 2. Painel sanduíche. 3. Bloco cerâmico. I. Silva,
Liliane Flávia Guimarães da. II. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e
pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a)
autor(a).

FOLHA DE APROVAÇÃO

CARACTERIZAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE PAINEL SANDUÍCHE PARA APLICAÇÃO EM VEDAÇÃO EXTERNA HOSPITALAR

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel no Curso Superior de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas.

Aprovado em: 14 / 02 / 2023

BANCA AVALIADORA



Prof.ª. Dr.ª. Liliane Flávia Guimarães da Silva
Orientadora

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO)



Documento assinado digitalmente

ADRIANO DOS GUIMARAES DE CARVALHO

Data: 15/02/2023 17:30:01-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Adriano dos Guimarães de Carvalho
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO)



Documento assinado digitalmente

GILSON MARAFIGA PEDROSO

Data: 16/02/2023 20:52:27-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Gilson Marafiga Pedroso
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO)

À minha família: meus pais Reginaldo e
Margareth, meus irmãos Hugo e João Pedro, e
demais familiares.

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho, e a conclusão deste curso de Engenharia Civil contaram com o apoio de diversas pessoas, dentre elas agradeço:

Aos meus professores, por toda dedicação e empenho em compartilhar todo conhecimento comigo e demais colegas.

Aos meus pais, Reginaldo e Margareth, por todo o amor, carinho e incentivo dedicados em minha formação e educação. Vocês sempre serão meus verdadeiros exemplos! Pai, você muitas vezes acreditou em mim, mesmo quando nem eu acreditava mais.

Mamãe, você é minha maior inspiração e merece um parágrafo só seu. Agradeço-te imensamente a todas as orações destinadas a mim neste período. Todo o esforço realizado até aqui valeu a pena por vê-la novamente comemorando o fim desse ciclo, assim como a senhora comemorou quando ele se iniciou. Ter visto sua reação ao ler meu nome na lista de aprovados de 2015 me deu forças e principalmente foco e determinação para conseguir passar por este período tão puxado e concluir com sucesso essa etapa.

Aos meus irmãos, Hugo e João Pedro, não existem palavras suficientes que descrevam tudo o que sinto por vocês. Passamos pelos piores momentos das nossas vidas juntos e oro a Deus para que continuemos assim. Agradeço a todas as vezes que me fizeram sair de casa para não pirar, as vezes que me fizeram sair da zona de conforto e todas as vezes que me fizeram lembrar do nosso propósito e das nossas raízes. Eu amo muito vocês.

Aos meus familiares, não tenho palavras para descrever todo o meu carinho por vocês. A tia Vânia que sempre usou palavras de conforto quando ouvia minhas lamentações, ao tio Agenor por ter deixado as coisas muito mais leves, ao tio Marcondes por me fazer rir tanto. A minha madrinha Magna, por me acolher em sua casa em todos os fins de tarde quando o cansaço me alcançava e eu precisava de colo. A tia Marly que orou incessantemente para que Deus guiasse meu caminho. A tia Auxiliadora que sempre me deu um cantinho pra dormir e descansar quando precisei. Ao tio Zé por todo apoio dado a minha família durante este tempo.

Aos meus afilhados, Julia, Manu e Heitor, meu amor por vocês é gigante, e é por vocês também que a madrinha busca sempre evoluir, obrigada tia e Alcilane por ter me dado a honra de poder orientá-los. Aos meus primos, em especial Alcilane, Alice, Gabriela, Lara, Daniele, Isadora, Igor e Andressa vocês me deram apoio nos momentos em que mais precisei, e não me deixaram fraquejar. Todo esse período foi muito mais fácil tendo vocês ao meu lado.

As minhas avós, Cleide (em memória) e Margarida, o carinho de vocês me alimentou. A fé de vocês me levou a lugares que eu nunca imaginei. Eu amo vocês mais que tudo nessa vida e ainda darei mais orgulho a vocês duas.

Aos amigos que estavam aqui antes desse ciclo iniciar, Bárbara, Hannys, Michele, Carlos Miguel, Beatriz Thayná, Sérgio (em memória), Bruna, Carol, Anninha (Anna K), e aos que construí ao longo deste caminho, muitas dessas amizades agora no finalzinho, Tatiane, Ana, Kamila, Beatriz, Isabella Juwer, Hellen, Thaylla, Victória, Giovana, Lary e a todos os outros que não foram citados aqui, pela compreensão nas ausências e pelos afastamentos temporários, vocês deixaram tudo muito mais leve, muito obrigada.

As amizades de caminhada como Mayelle, Greyciellen e Fernanda, vocês foram as irmãs que o IF me deu, sem vocês eu não teria conseguido. Sou eternamente grata a parceria durante todos esses anos, estarei com vocês até o fim.

E a Deus, estando por último, mas tendo a mesma importância, agradeço a toda força que me foi dada, à todas as vezes em que mesmo achando que estive desamparada ter me mantido firme no meu propósito, a toda coragem de encarar os desafios que surgiram e principalmente a seu amor infinito. Sem seu amparo, provavelmente, eu não seria capaz de finalizar este ciclo.

RESUMO

A necessidade de inovação nas edificações para atender aos conceitos de conforto e também de eficiência energética, juntamente aos requisitos estruturais, é um desafio constante enfrentado pelos profissionais da construção civil. Com o intuito de garantir a padronização dos níveis de desempenho das habitações e estimular a adoção de técnicas que viabilizam o atendimento aos seus requisitos, foi publicada a norma de desempenho em edificações habitacionais ABNT NBR 15220 (2022). Dentre os assuntos abordados, está à caracterização térmica e, mais especificamente, a avaliação do desempenho térmico pelo método simplificado, cujos dados de transmitância e capacidade térmica foram analisados neste trabalho. Para Palmas – TO, cidade localizada na Zona Bioclimática 7, com clima predominantemente quente e seco em boa parte do ano, o método simplificado se mostra útil para tomada de decisões durante o projeto, visando amenizar temperaturas internas e propor um melhor conforto térmico para a edificação. Os dados de cada material foram retirados da NBR ISO 10456 (2022) – Materiais e produtos de construção - Propriedades higrotérmicas, que foram utilizados como dados de entrada para a realização do cálculo simplificado para determinação de características térmicas de cada componente. Os resultados obtidos demonstraram que os materiais analisados não atenderam a todos os requisitos solicitados pela NBR 15220, em relação a sua utilização. A placa sanduíche apresenta nível superior quanto a transmitância térmica, quando comparada a vedação convencional em bloco cerâmico, sendo este requisito responsável por garantir que não haja transferência de calor para a parte interna do edifício auxiliando diretamente no seu desempenho térmico.

Palavras-chave: Desempenho térmico; ABNT NBR 15220 (2022); Transmitância térmica; Capacidade térmica; Paineis sanduíche; TermoWall; Bloco cerâmico.

ABSTRACT

The need for innovation in buildings to meet the concepts of comfort and energy efficiency, along with emotional requirements, is a constant challenge faced by civil construction professionals. In order to ensure the standardization of performance levels of housing and encourage the adoption of techniques that enable compliance with their requirements, the ABNT NBR 15220 (2022) performance standard for residential buildings was published. Among the subjects observed, there is the thermal characterization and, more specifically, the evaluation of the thermal performance by the simplified method, whose transmittance and thermal capacity data were analyzed in this work. For Palmas - TO, a city located in Bioclimatic Zone 7, with a predominantly hot and dry climate for most of the year, the simplified method proves to be useful for decision-making during the project, seeking to soften internal temperatures and provide better thermal comfort for the edification. The data for each material was taken from NBR ISO 10456 (2022) – Construction Materials and Products - Hygrothermal Properties, which were used as input data for performing the simplified calculation to explore the thermal characteristics of each component. The results accepted that the analyzed materials do not meet all the requirements requested by NBR 15220, in relation to their use. The sandwich plate has a higher level in terms of thermal transmittance, when we verify the conventional sealing in ceramic block, this requirement being responsible for ensuring that there is no transfer of heat to the inside of the building, directly helping its thermal performance.

Keywords: Thermal performance; ABNT NBR 15220 (2022); Thermal transmittance; Thermal capacity; Sandwich panel; TermoWall; Ceramic brick.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipo de material das paredes externas - Domicílios particulares permanentes no Brasil	19
Quadro 2 – Uso do poliuretano com diversas funções	24
Quadro 3 – Esquema de procedimentos de avaliação de desempenho térmico	31
Quadro 4 – Transmitância térmica dos materiais	46
Quadro 5 – Capacidade térmica dos materiais	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema estrutura sanduíche	20
Figura 2 – Amostra placa sanduíche com núcleo em PUR	20
Figura 3 – Instalação placa sanduíche Bloco Radioterapia – Hospital de Amor	21
Figura 4 – Instalação placa sanduíche Bloco Circulação III – Hospital de Amor.....	21
Figura 5 – Painéis sanduíche com núcleos do tipo: a) homogêneo, b) disposição em favo de mel, e c) corrugado.	23
Figura 6 – Equação química típica da obtenção do poliuretano.....	24
Figura 7 - Placa sanduíche – Modelo base	34
Figura 8 - Bloco cerâmico – Vista em perspectiva da parede e do elemento isolado	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resistência específica e módulo específico de materiais tradicionais e compósitos de fibra	22
Tabela 2 – Propriedades típicas de espumas poliisocianurato com densidades entre 38 e 48 kg/m ³	26
Tabela 3 – Transmitância térmica de referência para paredes externas	37
Tabela 4 – Capacidade térmica de referência para paredes externas	38
Tabela 5 – Transmitância e capacidade térmica para zona bioclimática	38
Tabela 6 – Dados dos materiais – Placa sanduíche núcleo em PUR	40
Tabela 7 – Dados dos materiais – Parede de bloco cerâmico	42
Tabela 8 – Dados obtidos – Placa sanduíche x Parede de bloco cerâmico	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Problema de pesquisa	14
1.2	Justificativa	14
1.3	Objetivos	15
1.3.1	Objetivo Geral	15
1.3.2	Objetivos Específicos	16
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1	Classificação das vedações	17
2.2	Alvenaria de vedação e os materiais utilizados no Brasil	18
2.3	Painéis sanduíche	19
2.3.1	Caracterização do material – Painéis em PUR e PIR	22
2.3.2	Produção do poliuretano e poliisocianurato	23
2.3.3	Propriedades do material	25
2.4	Normas de desempenho	26
2.4.1	NBR 15220 (ABNT, 2005; 2022) - Desempenho térmico de edificações.	27
2.4.2	NBR 15575 (ABNT, 2013; 2021) – Edificações habitacionais — Desempenho.	28
2.5	INI – C 31	
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
3.1	Objeto de estudo	33
3.2	Instrumentos e técnicas	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
4.1	Caracterização climática e bioclimática	39
4.2	Desempenho térmico pelo método simplificado	40
4.3	Análise de resultados	46
4.4	Análise de custo	48
4.5	Relação Custo x Benefício dos painéis sanduíche estudados	49
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	51
	REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

O sistema construtivo predominante no Brasil, mesmo com a evolução dos diversos materiais disponíveis, ainda é a de vedação convencional com blocos, sejam eles cerâmicos ou de concreto. Além de dividir o ambiente, as vedações de um edifício também têm a função de protegê-lo, auxiliar no suporte e na proteção das suas instalações e equipamentos de utilização do edifício, auxiliar no conforto térmico, criar condições de habitabilidade e suprir a função estrutural ou parte da mesma (LORDSLEEM, 1998 *apud* SAVAS, 2021).

Com a importação das novas tecnologias, com o interesse do mercado em processos atualizados e em métodos construtivos não convencionais, o Brasil vem abrindo cada vez mais portas para o uso destes materiais na prática. Em obras industriais de alto padrão, o uso de placas do tipo sanduíche – *TermoWall*, tem sido bastante comum, já que é um material com alto valor agregado.

Um compósito sanduíche é composto por duas faces, podendo possuir reforços metálicos, com a presença de um núcleo, formado normalmente por um polímero celular. Suas faces podem estar unidas através de um adesivo estrutural ou pela presença de um núcleo de espuma rígida de poliuretano (PUR) ou poliisocianurato (PIR), injetado diretamente sobre os substratos (DOW *et al.*, 2006 *apud* SARTORI, 2009).

Ainda, a utilização destas placas proporciona características complementares à estrutura, sendo principalmente a melhoria do conforto térmico. Sua estrutura é construída para diminuir a transmitância térmica, ter maior potencial isolante térmico, e ainda pode haver complementações, como estrutura interna à placa sendo retardadora de chama e estrutura externa à placa com pintura/acabamento especial.

Em Palmas - TO, região de realização deste estudo, não é muito comum o uso deste material na realização de vedação. Em contrapartida, está sendo construído um hospital de alta complexidade em que seu fechamento externo se dá inteiramente – salvo regiões específicas determinadas por normas hospitalares – por placas isotérmicas *TermoWall* e vidro. A escolha do material se deu pelo fato de possuir facilidade e agilidade na montagem, alto padrão estético, baixo nível de desperdício de matéria prima, excelente vedação, núcleo isolante (do tipo Poliuretano – PUR) e ainda com possibilidade de adição da propriedade retardadora de chama.

Dessa forma, este trabalho terá como diretriz a análise das placas do tipo sanduíche *TermoWall* utilizadas em estrutura Hospitalar e seus requisitos mínimos de desempenho

térmico quanto às normas técnicas brasileiras.

1.1 Problema de pesquisa

A construção de estruturas com alvenarias convencionais ainda é realizada em grande escala no Brasil. Isso se dá tanto pela disponibilidade do material, quanto por motivos técnicos e culturais dos usuários. Em contrapartida, com o clima do país sendo predominantemente tropical, há de se levar em consideração materiais que nos auxiliem dando maior isolamento térmico.

Com o avanço das tecnologias mundiais, a construção civil tem acompanhado a constante atualização de métodos construtivos. O fornecimento de materiais com capacidade de substituir as tradicionais construções de concreto com alvenaria convencional traz a possibilidade de economias expressivas por conta da redução de materiais necessários para montagem, suas perdas, prazo de execução e gastos quanto à manutenção em longo prazo.

Pensando nisso, para que o ambiente tenha mais vantagens quanto ao uso do material e sua aplicação, leva-se em consideração a utilização de novos materiais como o caso das placas do tipo sanduíche. Este material apresenta características térmicas diferentes dos produtos utilizados atualmente no mercado, que são os blocos de concreto e cerâmico, por possuir camadas com materiais diversos e propriedades específicas.

Segundo as normas técnicas brasileiras, para que um material seja utilizado como vedação vertical, é necessário que este atenda aos requisitos mínimos de desempenho térmico descrito em norma. A presente pesquisa questiona, portanto, a viabilidade de utilização das placas do tipo sanduíche, no sentido de investigar se as mesmas apresentam melhor desempenho térmico em relação às paredes convencionais construídas com bloco cerâmico, material comumente utilizado em obras, principalmente na aplicação comercial como em ambiente hospitalar, uso atual na cidade de Palmas, TO.

1.2 Justificativa

Atualmente, a construção civil tem como grande desafio enfrentar os problemas quanto à obtenção de material específico, sua aplicação/utilização, seu custo de manutenção, reparação, e adaptação para conforto térmico dos edifícios. Pensando nisso, tem crescido a procura por novas técnicas e materiais mais duráveis, com menor taxa de manutenção durante

sua vida útil e maiores funcionalidades.

Os problemas quanto à durabilidade e capacidade térmica, associados aos materiais tradicionais, levaram a mudanças consideráveis na Engenharia Civil. A necessidade de se construir cada vez mais rápido, as crescentes exigências de funcionalidade e as preocupações quanto à aplicabilidade tiveram um efeito estimulante no desenvolvimento de soluções estruturais inovadoras. Estas compreendem novos materiais com elevado desempenho térmicos e mecânico, mas, ao mesmo tempo, mais leves, menos propensos à degradação causada por agentes ambientais agressivos e requerendo menos manutenção durante a sua vida útil.

Dentre estes novos materiais, os painéis sanduíches compostos por espumas poliméricas, de poliuretano (PUR) ou poliisocianurato (PIR) estão atualmente assumindo uma grande relevância (LOURENÇO, 2018). Ainda, há a utilização de lã de rocha ou poliestireno expandido (EPS) como materiais constituintes do núcleo, elevando seu isolamento termo acústico.

A exposição a temperaturas elevadas seja ambiental ou pela ação do fogo, e o alto consumo energético tem influenciado diretamente na decisão do consumidor e projetista quanto à definição do material a ser aplicado em um edifício. A procura por sistemas inovadores, a fim de melhorar os índices quanto ao conforto térmico, principalmente, dá aos painéis sanduíche a oportunidade de serem utilizados como uma solução promissora em comparação aos materiais tradicionais.

A alta complexidade na aplicação das placas sanduíches e a constante atualização do mercado, o reduz à expectativa de um valor inacessível e de aplicação inviável. No entanto, ao contrário desta primeira impressão, esse tipo de material vai muito além do seu preço, pois possui alto valor agregado, que além do aspecto visual, auxilia diretamente quanto ao conforto térmico do local.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Avaliar o desempenho térmico das placas do tipo sanduíche – *TermoWall*, em relação à alvenaria convencional de bloco cerâmico, para aplicação em ambiente hospitalar na cidade de Palmas, TO.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinação do desempenho térmico dos materiais objetos de estudo segundo método simplificado da NBR 15520-2 (ABNT, 2022);
- Avaliação quanto ao atendimento à classificação, aos requisitos e critérios normativos de desempenho térmico dos materiais estudados, pelo método simplificado;
- Avaliação quanto a qual material construtivo possui melhor relação custo x benefício para aplicação em ambiente hospitalar na cidade de Palmas, TO.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Em regiões urbanizadas onde é comum que existam elevadas temperaturas por conta dos elementos construtivos presentes, faz-se necessário sugerir materiais que possuam desempenho relevante capaz de garantir um isolamento necessário para que seja mantido um bom conforto térmico aos usuários. A norma vigente NBR 15575 (ABNT, 2013; 2021), com a evolução do mercado, impacta diretamente nos materiais que são apresentados pelos fornecedores, pois informa as diretrizes mínimas para garantia de qualidade dos produtos, e dá aos consumidores melhores possibilidades quanto à realização de fechamentos externos e sua gama de funções. Dessa forma, conforme a evolução e demanda do mercado foram criados os painéis sanduíches que serão descritos nesta seção.

Além disso, há também outras normativas que foram criadas com o intuito de garantir que estes materiais possuam características técnicas de desempenho de acordo com os requisitos solicitados, que é o caso das normas NBR 15220 (ABNT, 2005; 2022) – Desempenho térmico de edificações e NBR ISO 10456 (2022) – Materiais e produtos de construção - Propriedades higrotérmicas - Valores e procedimentos de projeto tabulados para determinar valores térmicos declarados e de projeto.

O fechamento de uma estrutura é um procedimento imprescindível na execução da obra quando se trata de edifício habitável, seja ela realizada de forma estrutural, ou não. Sua realização dará à estrutura interna a capacidade de resistir às intempéries, à ação biológica de agentes externos, auxiliará no conforto térmico do local, entre outras funções.

2.1 Classificação das vedações

Os sistemas de vedação podem ser classificados de diversas formas, como por exemplo: quanto à sua função desempenhada (se externamente ou internamente ao edifício), à técnica de execução, sua mobilidade, densidade superficial, estruturação, continuidade e acabamento (FRANCO, 1998 *apud* SAVAS, 2021; JAIME, 2018; SABBATINI *et al.*, 2013; TANIGUTI, 1999).

As vedações externas, tipologia estudada neste momento, também conhecida pelos nomes de vedação de fachada e envoltória externa, podem ainda ter função estrutural ou não. A função do fechamento externo, além de delimitar os espaços, é resistir às ações do vento, e outros agentes indesejáveis (LIBRELOTTO, 2021 *apud* SAVAS, 2021; SABBATINI *et al.*,

2013), como chuva, frio, calor, propagação do som, entre outros.

Ainda, além de servir de suporte e proteção dos sistemas prediais do edifício, é necessário criar as condições de habitabilidade para ele, tais como: conforto, higiene, saúde e segurança de utilização (OLIVEIRA; SABBATINI, 2003 *apud* SAVAS, 2021; SABBATINI *et al.*, 2013). Em casos de cunho estrutural, é necessário que o dimensionamento da vedação seja direcionado além da função de fechamento externo, como também para suportar as cargas advindas do edifício.

Quanto às demais classificações, de função interna, são aquelas utilizadas para realização de compartimentos/divisões, que divide os ambientes internos de uma edificação, e a de separação ou divisória entre unidades e a área comum (ABNT, 2013; FRANCO, 1998 *apud* SAVAS, 2021; SABBATINI *et al.*, 2013).

Existe ainda a classificação quanto ao seu grau de industrialização. Este as diferencia entre industrializadas, com alto grau de industrialização, e entre as tradicionais racionalizadas, que possuem grau de industrialização médio, que também são conhecidas, como racionalizadas ou, ainda, semi-industrializadas (SABBATINI, 1989).

Quanto às técnicas de execução, há a classificação em três tipologias, são elas: por conformação, por acoplamento úmido e a seco (FRANCO, 1998 *apud* SAVAS, 2021; SABBATINI *et al.*, 2013).

Por conseguinte, a execução por conformação é realizada de forma em que a vedação é moldada no local, com utilização de água, como por exemplo, alvenaria e painéis moldados na construção em que será instalado (SABBATINI *et al.*, 2013).

Já as construções por acoplamento úmido, são realizadas com a associação de argamassa, como exemplos estão os elementos pré-moldados ou pré-fabricados de concreto (FRANCO, 1998 *apud* SAVAS, 2021).

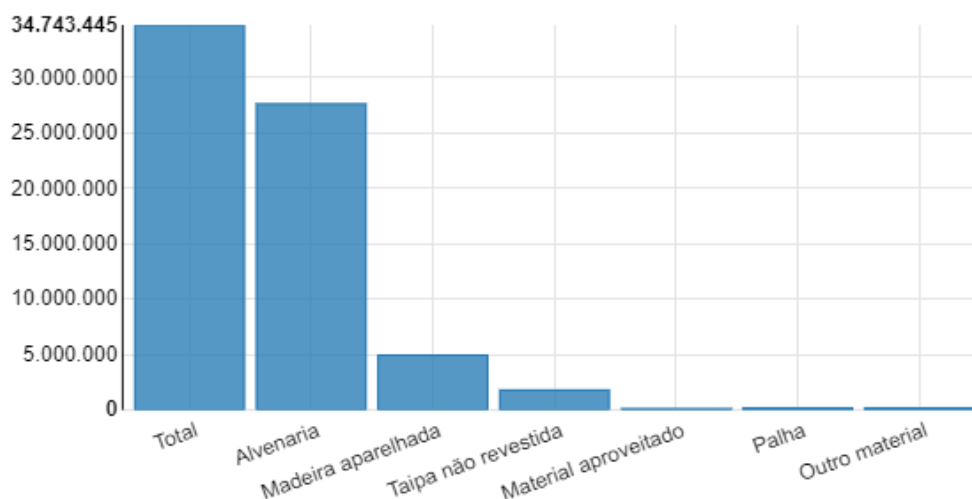
Por fim, quanto à técnica de acoplamento a seco, é aquela em que é realizada a sua montagem, sem o uso de água, a exemplo dos painéis leves (FRANCO, 1998 *apud* SAVAS, 2021), que aqui estão sendo estudados.

2.2 Alvenaria de vedação e os materiais utilizados no Brasil

No Brasil, um estudo realizado em 1991 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) apontou que cerca de 79,47% dos domicílios no Brasil possuíam sua vedação externa em alvenaria ou materiais inferiores, como pode ser observado no Quadro 1,

a seguir. Isso se dá tanto pela disponibilidade de material, quanto pela mão de obra, pois a facilidade em que o produto pode ser encontrado, e a execução do serviço que foi popularizada garantem sua notoriedade.

Quadro 1 – Tipo de material das paredes externas - Domicílios particulares permanentes no Brasil



Fonte: Censo Demográfico (IBGE, 2021).

Ainda hoje, mesmo com o passar dos anos, há uma grande utilização deste material. As vedações realizadas em edificações são tipicamente em alvenaria, sejam elas com blocos cerâmicos ou de concreto. Sua formação se dá por meio de blocos unidos com a presença de argamassa, podendo ser classificadas em alvenaria de vedação ou ainda estrutural.

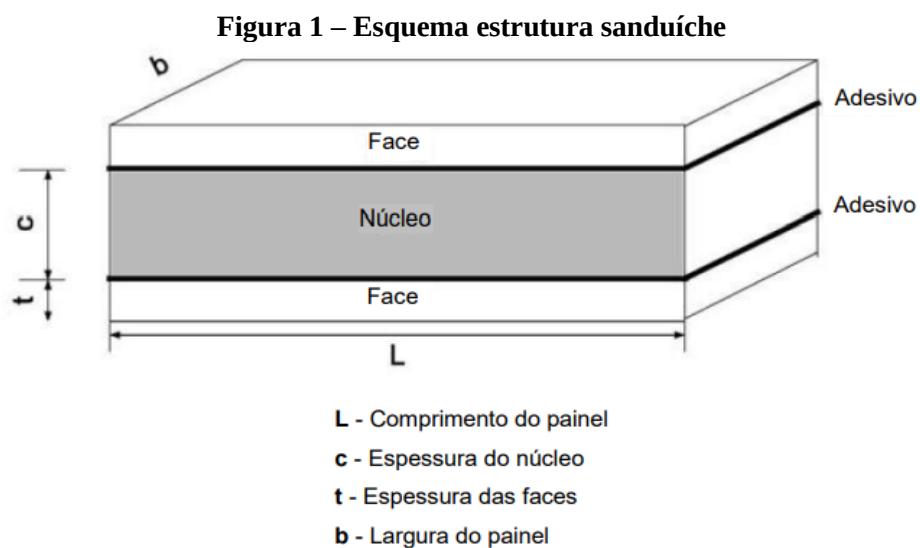
É importante salientar que a vedação externa corresponde a cerca de 6% do custo de construção de um edifício (LORDSLEEM JÚNIOR, 2004 *apud* SILVA, 2017). Dessa forma, é necessário analisar a melhor estratégia a ser usada, seja ela em alvenaria, podendo ocorrer maiores perdas, ou a utilização de sistema construtivo não convencional, como o proposto neste estudo.

Graças à evolução dos procedimentos e materiais da construção civil, novos materiais foram desenvolvidos, dentre eles, os painéis sanduíches, apresentados na próxima seção.

2.3 Painéis sanduíche

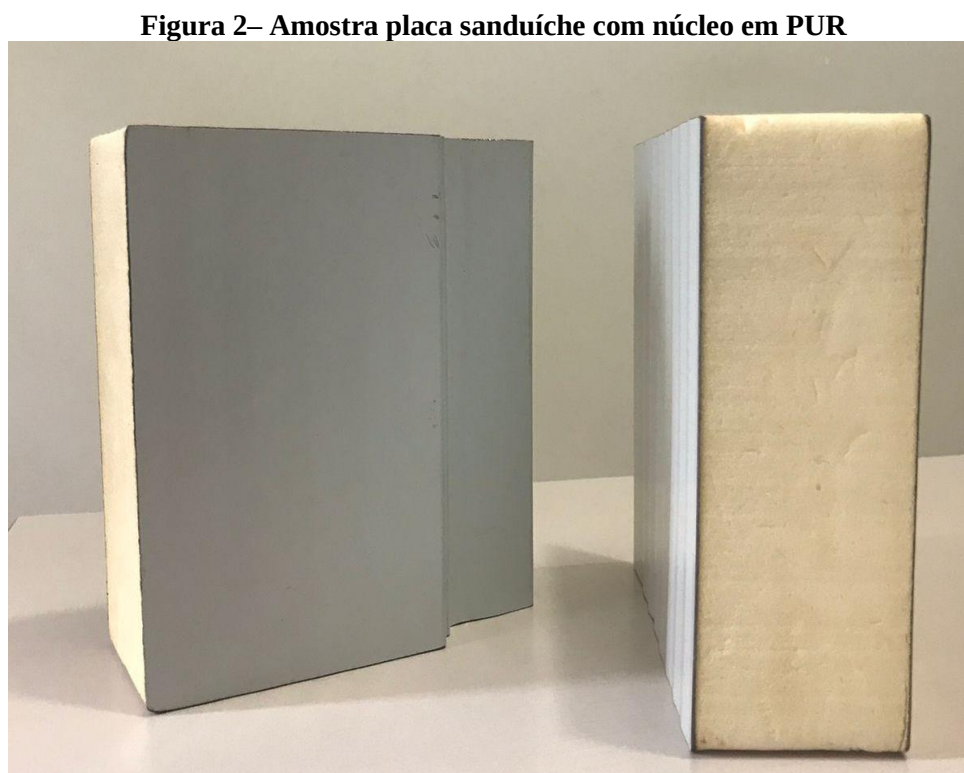
A estrutura sanduíche decorre da junção por colagem ou pela soldagem de duas faces, a um núcleo extremamente leve que mantém afastadas estas faces e pode ter espessura diversa. Estes compósitos concedem propriedades vantajosas em relação a outros materiais, como alto isolamento térmico, baixa densidade e elevada resistência à flexão.

A Figura 1 apresenta uma ilustração da estrutura-tipo de um painel sanduíche. As faces, deste tipo de material podem ser unidas por meio de um adesivo, ou ainda possuir núcleo em espuma rígida de poliuretano ou poliisocianurato, que sozinhos realizam a união. E até mesmo outros materiais.



Fonte: Benderly (2004) *apud* Lourenço (2018).

Já a Figura 2 exibe uma amostra da placa real que foi utilizada na obra hospitalar referência do estudo - Hospital de Amor - onde é possível identificar as camadas do material.



Fonte: Autoria própria (2021).

Essas placas são consideradas divisórias leves, assim se tornam elementos totalmente modulares, usualmente empregadas em edifícios comerciais (SABBATINI *et al.*, 2013). Sua desmontagem, caso seja necessário, é realizada sem que haja grandes danos na estrutura. Nas figuras 3 e 4 são apresentadas as instalações dos painéis em estrutura metálica.

Figura 3 – Instalação placa sanduíche Bloco Radioterapia – Hospital de Amor



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 4 – Instalação placa sanduíche Bloco Circulação III – Hospital de Amor



Fonte: Autoria própria (2021).

A utilização de adesivos estruturais na ligação entre o núcleo e as faces, caso seja realizado, traz pequenos aumentos na espessura do núcleo que podem resultar em um aumento significativo da rigidez estrutural, sem que o peso total da solução aumente consideravelmente. Dessa forma, é possível ainda agregar à vedação a capacidade de suportar

maiores esforços quanto ao aumento das cargas.

Num painel sanduíche, as tensões de tração e compressão são suportadas por suas faces, que como explicadas anteriormente também podem receber reforço ou não. Já as tensões de corte são suportadas principalmente pelo núcleo rígido que a compõe. Caso haja a presença de adesivo, este é responsável pela transmissão de tensões e deformações entre as faces e o núcleo. O núcleo, ainda, é responsável pela dissipação do calor já que o material utilizado, no caso do PUR e PIR, possui baixo coeficiente de condutividade térmica.

2.3.1 Caracterização do material – Painéis em PUR e PIR

O material constituinte das faces dos painéis sanduíche pode ser de várias naturezas e tipologias, incluindo o aço, o alumínio e a madeira. Como há a necessidade de se comparar estas soluções inovadoras com os materiais tradicionais, na Tabela 1, é apresentado um diagrama de resistência à tração para diversos materiais utilizados nas faces de painéis (PVC, madeira, alumínio, GFRP e aço) assim como resistências e módulos específicos para materiais tradicionais.

Tabela 1 – Resistência específica e módulo específico de materiais tradicionais e compósitos de fibra

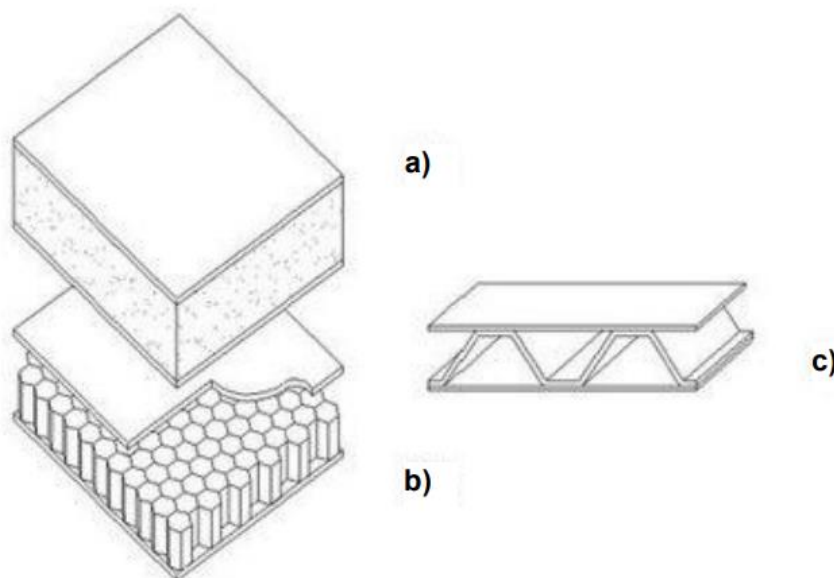
Materiais	Densidade (g/cm³)	Resistência à tração (GPa)	Módulo de elasticidade (E) (GPa)	Resistência específica (10⁶ m²/s²)	Módulo específico (10⁶ m²/s²)
Aço	7,80	1,03	210	0,13	26,9
Liga alumínio	2,80	0,47	75	0,17	26,8
Liga titânio	4,50	0,96	114	0,21	25,3
Compósitos de fibra de vidro	2,00	1,06	40	0,53	20,0
Compósitos de fibra de carbono II/epóxi	1,45	1,50	140	1,03	96,6
Compósitos de fibra de carbono I/epóxi	1,60	1,07	240	0,67	150,0
Compósitos de fibra orgânica/epóxi	1,40	1,40	80	1,00	57,1
Compósitos de fibra de boro/epóxi	2,10	1,38	210	0,66	100,0
Matriz compósita fibra de boro/alumínio	2,65	1,00	200	0,38	75,5

Fonte: Wang (2011) *apud* Lourenço (2018).

Quanto ao núcleo dos painéis, estes podem assumir formas e tipologias variadas conforme as características do material ou à sua aplicação funcional e/ou arquitetônica do uso. As principais tipologias dos materiais de núcleo tipicamente utilizados em painéis sanduíche são as seguintes: (i) núcleos corrugados; (ii) núcleos em estrutura favo de mel; e (iii) núcleos

homogêneos, tal como é apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Painéis sanduíche com núcleos do tipo: a) homogêneo b) disposição em favo de mel, e c) corrugado.



Fonte: Allen (1969) *apud* Lourenço (2018).

Nos núcleos homogêneos, são normalmente utilizadas espumas poliméricas rígidas, espumas metálicas ou materiais naturais, como a madeira (utilizadas em balsas, por conta do seu peso próprio reduzido). A maior variedade de materiais de núcleo homogêneos encontra-se nas espumas poliméricas rígidas, sendo utilizados materiais como o tereftalato de polietileno ou PET (do inglês, *polyethylene terephthalate*), o poliuretano ou PUR (do inglês, *polyurethane*), o poliisocianurato ou PIR (do inglês, *polyisocyanurate*), a polimetacrilimida ou PMI (do inglês, *polymethacrylimide*), ou o policloreto de vinilo ou PVC (do inglês, *polyvinyl chloride*). Já a variedade dos materiais nos núcleos de estrutura em favo de mel ou corrugado inclui plásticos, alumínio ou papel, a depender de sua aplicação e indústria que o utiliza.

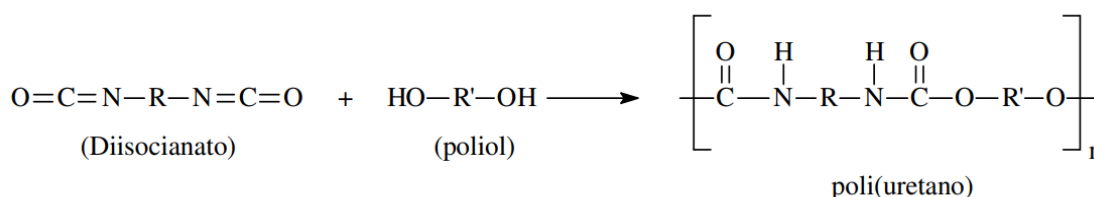
2.3.2 Produção do poliuretano e poliisocianurato

O poliuretano (PUR) foi descoberto em 1937, pelo químico alemão Otto Bayer e equipe, nos laboratórios da I. G. Farben (Grupo de Interesses da Indústria de Tintas) na cidade de Leverkusen, na Alemanha. Os produtos de poliuretano foram obtidos a partir de diisocianato alifático e diamina, que formam a poliureia, e ainda no estudo das propriedades do poliuretano obtidas através do diisocianato alifático e glicol. Ao longo dos anos, o

poliuretano evoluiu desde as espumas flexíveis (1960) às espumas rígidas de poliisocianurato (PIR), que começaram a ser utilizadas em 1967, e somente em 1950 foram patenteadas.

De acordo com VILAR (2005), o poliuretano deriva da mistura entre um polioli e um isocianato, indicado na reação química descrita na Figura 6. A produção destes polímeros acontece em massa por meio de processos de policondensation.

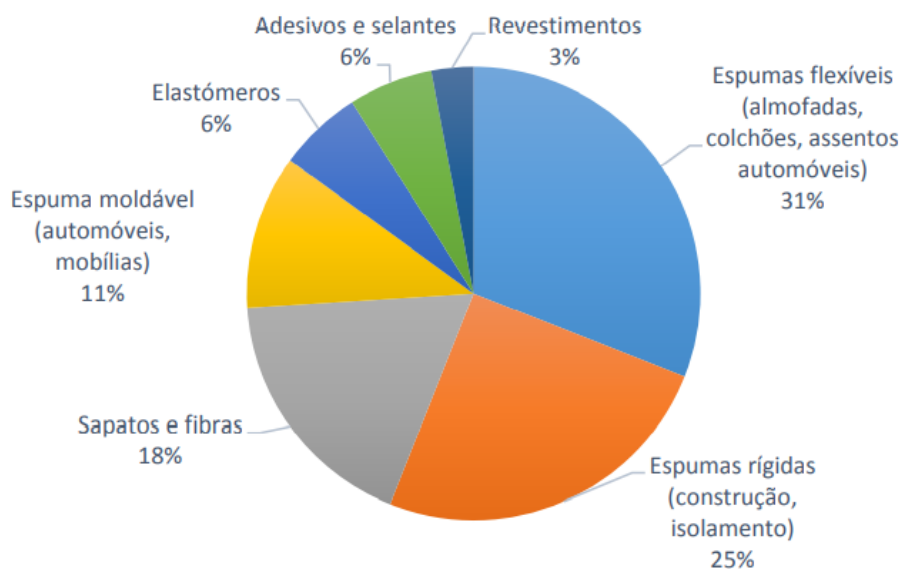
Figura 6 – Equação química típica da obtenção do poliuretano



Fonte: Sartori (2009).

A sua funcionalidade, a sua variedade e as suas proporções no polímero de poliuretano são fatores que determinam o tamanho da gama de propriedades que os materiais de poliuretano podem atingir. Em outras palavras, o material pode ser determinado de acordo com a sua utilidade final. Os poliuretanos estão inseridos de diversas formas na sociedade, na forma de espumas flexíveis (colchões, almofadas, assentos de automóvel), espumas rígidas (construção e isolamento), espumas moldáveis (automóveis e mobílias), revestimentos, fibras, adesivos, vedantes e outros. Sua utilização é variada, e de acordo com gráfico abaixo é possível ter uma dimensão dos principais campos de aplicação dos poliuretanos.

Quadro 2 - Uso do poliuretano com diversas funções



Fonte: University of York (2017) *apud* Lourenço (2018).

Os poliuretanos são produzidos na forma de blocos de espuma, de grande tamanho, que são posteriormente submetidos à corte para o uso a que se destinem (seja aplicação em almofadas ou em isolamentos térmicos). Também podem ser produzidos em fôrmas ou moldes específicos, a exemplos de para-choques de um automóvel ou painéis estruturais utilizados na construção civil. O poliuretano ainda pode ser adquirido na forma de reagente líquido, que são pulverizados sobre uma superfície de construção ou revestido num tecido, como é o caso de preenchimento de paredes *drywall* adotando o nome popular de espuma expansiva.

O nome poliuretano é derivado da presença do grupo funcional de uretano (conhecido como carbamato). Este termo – poliuretano – é utilizado para descrever a família de polímeros cujos monômeros (pequena molécula que se repete ligando-se a outros monômeros formando moléculas maiores compondo um polímero) são acompanhados por uma série de grupos funcionais, derivados principalmente da poliadição de poliisocianatos e poliálcoois. Para realizar a produção uma variação de grupos funcionais, incluindo uretanos, ureias, isocianuratos, carbodiimidas e uretediones, tem-se ainda que ocorrer outras reações, com aminas, água, ureias, uretanos e até mesmo outros isocianatos. A produção de poliuretanos se dá por reações exotérmicas entre álcoois e isocianatos, onde se têm mais de um grupo isocianato reativo (NCO) por molécula (diisocianatos, poliisocianatos).

Os isocianatos presentes na base da formação do poliuretano são uma grande família reativa de compostos que são caracterizados pelo grupo funcional R-NCO. Por mais que haja variados poliisocianatos, dois existentes recebem uma importância industrial particular: sendo eles o TDI (diisocianato de tolueno ou diisocianato de metilbenzeno) e o MDI (diisocianato de metileno difenilo ou diisocianato de difenilmetano), que juntos constituem a base de cerca de 95% de todos os poliuretanos. O MDI foi desenvolvido posteriormente ao TDI, mas, hoje em dia é o mais utilizado, principalmente na produção de espumas flexíveis de baixa densidade para almofadas. Já o MDI é mais complexo e permite a fabricação de poliuretano, que é utilizado em mais processos e consequentemente também é mais versátil.

2.3.3 Propriedades do material

A espuma rígida de poliuretano (PUR) é um dos materiais de núcleo mais aplicados nos painéis sanduíche utilizados na construção, devido aos aspectos de custo reduzido, baixa condutividade térmica e facilidade de fabricação em diversas formas. A espuma rígida de

poliisocianurato (PIR) pode ser utilizada igualmente como material de núcleo, cuja vantagem principal relativa ao poliuretano é as características de reação ao fogo, na Tabela 2, são apresentados intervalos de variação para algumas propriedades características dessa espuma.

Tabela 2 – Propriedades típicas de espumas poliisocianurato com densidades entre 38 e 48 kg/m³

Propriedade	Valor
Resistência à compressão	0,14 - 0,28 MPa
Resistência ao corte	0,10 - 0,24 MPa
Valor K inicial	0,17 W/mK a 0°C
Valor K equilíbrio	0,24

Fonte: Adaptado de Brydson (1999) *apud* Lourenço (2018).

De acordo com os estudos realizados por Brydson (1999) os valores de condutividade térmica (K) estão no intervalo de: 0,017-0,022 W/m.K (watt por metro por kelvin) para a espuma de PUR, e 0,017 W/m.K para espuma de PIR, logo, este último possui menor condutividade térmica em temperaturas próximas a temperatura ambiente. Ainda assim, há dificuldade em encontrar estudos disponíveis que abordem o comportamento térmico e mecânico destes materiais quando expostos a altas temperaturas e ao fogo.

Além disso, o coeficiente global de transferência de calor é uma das propriedades de grande destaque destes painéis. As características importantes e desejáveis dos compósitos sanduíches são as boas propriedades estruturais aliadas à baixa densidade e a excelentes propriedades de isolamento térmico (DOW, 2006 *apud* SARTORI, 2009).

A verificação das propriedades de cada um destes materiais é necessária para que sejam atendidos os critérios determinados nas normas técnicas brasileiras. Dessa forma, fica garantido ao usuário que o item segue as diretrizes mínimas exigidas no território nacional.

2.4 Normas de desempenho

A ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, é uma entidade privada e sem fins lucrativos fundada em 1940, reconhecida pelo governo federal como o Foro Nacional de Normalização, sendo a responsável por designar as diretrizes da normalização técnica que devem ser seguidas no território nacional.

Assim que são constatadas inconsistências nestas normativas, seja para a adoção de novas tecnologias ou materiais, por necessidade de adequações ou por inovação de conhecimento adquirido pela humanidade, é necessário que as normas passem por revisão, e se for o caso sejam reestruturadas. Para que sejam realizadas melhorias é crucial a análise de

uma comissão, neste momento ocorre a colaboração de diversas pessoas com a entidade, entre eles profissionais da área ou não, que juntas formam o grupo responsável pela criação de novos requisitos normativos.

Para que os critérios de desempenho térmico sejam atendidos corretamente, é necessário que sejam realizadas as análises conforme as instruções contidas nas normas técnicas NBR 15220 (ABNT, 2005; 2022) e NBR 15575 (ABNT, 2013; 2021), que são as normativas principais.

2.4.1 NBR 15220 (ABNT, 2005; 2022) - Desempenho térmico de edificações.

A NBR 15220 (ABNT, 2005; 2022), elaborada pela Comissão de Estudo de Desempenho Térmico no Comitê Brasileiro de Construção Civil, foi o primeiro precedente dentro da norma brasileira a tratar como principal assunto o Desempenho Térmico de Edificações, e por este motivo recebeu esta titulação.

A referida norma é fracionada em cinco partes, em que são abordados temas individualizados e objetivos.

- Parte 1: Definições, símbolos e unidades;
- Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;
- Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
- Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;
- Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico. (ABNT, 2005, p. iv).

No referente ao entendimento do presente estudo, faz-se necessário o conhecimento da norma NBR 15220 (ABNT, 2005) – Desempenho térmico de edificações Parte 1, ante o exposto, segue a relação conforme a apresentação realizada na norma e descrições das características térmicas que este item em questão é responsável por explicar:

- Transmitância térmica (U): “Inverso da Resistência térmica total”. Dado em $W/(m^2.k)$
- Capacidade térmica (C): “Quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema”. Dado em J/K.
- Condutividade térmica (λ): “Propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de $1 W/m^2$, quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro²”. Dado em $W/(m.K)$.
- Resistência térmica de elementos e componentes (R): “Quociente de

diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento ou componente construtivo pela densidade de fluxo de calor, em regime estacionário”. Dado em $(\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$.

- Resistência superficial interna (R_{si}): “Resistência térmica da camada de ar adjacente à superfície interna de um componente que transfere calor por radiação e/ou convecção”. Dado em $(\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$.
- Resistência superficial externa (R_{se}): “Resistência térmica da camada de ar adjacente à superfície externa de um componente que transfere calor por radiação e/ou convecção”. Dado em $(\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$.
- Resistência térmica total (R_t): “Somatório do conjunto de resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento ou componente, incluindo as resistências superficiais internas e externas”. Dado em $(\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$.
- Calor específico (c): “Quociente da capacidade térmica pela massa”. Dado em $\text{J}/(\text{kg}.\text{K})$. (ABNT, 2005, p. 2).

Em complementação a norma que se iniciou em 2005, a NBR 15220 - Parte 2 – Componentes e elementos construtivos das edificações – Resistência e transmitância térmica – Métodos de Cálculo, foi atualizada em 2022, mantendo os conceitos acima citados e acrescentando/modificando os seguintes conceitos:

- Condutividade térmica de projeto (λ): “Valor de condutividade térmica de um material de construção ou produto sob condições externas e internas específicas que podem ser consideradas como típicas do desempenho deste material ou produto quando incorporado ao componente construtivo”. Dado em $\text{W}/(\text{m}.\text{K})$.
- Resistência térmica de projeto (R_t): “valor de resistência térmica de um produto de construção sob condições externas e internas específicas que podem ser consideradas como típicas do desempenho deste produto quando incorporado ao componente construtivo.”. Dado em $(\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$.
- Camada termicamente homogênea: “Camada com espessura constante cujas propriedades térmicas podem ser consideradas uniformes.”.
- Capacidade térmica de projeto (C): “Quociente da capacidade térmica de um componente construtivo pela sua área”. (ABNT, 2022, p. 2 e 3). Dado em J/K .

Desta forma, após a atualização de definições e conceitos, a parte dois da norma é utilizada como referencial para os cálculos de requisitos e critérios constantes na NBR 15575 (ABNT, 2013; 2021), que será tratada em sequência.

2.4.2 NBR 15575 (ABNT, 2013; 2021) – Edificações habitacionais — Desempenho.

A NBR 15575 (ABNT, 2013; 2021) teve a publicação inicial no ano de 2008, sua versão conclusiva entrou em vigor em 2013, entretanto já houve sua atualização no ano de 2021, tendo mantido como procedimento base a avaliação de desempenho de sistemas construtivos. Em consoante com o relatado na presente norma:

Esta parte da ABNT NBR 15575 estabelece critérios relativos ao desempenho térmico, acústico, lumínico e de segurança ao fogo, que devem ser atendidos individual e isoladamente pela própria natureza conflitante dos critérios de medições, por exemplo, desempenho acústico (janela fechada) versus desempenho de ventilação (janela aberta). (ABNT, 2021, p. 1).

Desta feita, é possível constatar que o principal objetivo da presente norma é estabelecer critérios de desempenho, vida útil e garantias mínimas em relação aos diversos sistemas construtivos e materiais utilizados na edificação.

Como há uma ampla análise na norma, tem-se sua subdivisão em seis partes. Sendo a primeira responsável pela apresentação dos requisitos gerais. Em sua segunda parte, há o tratamento dos sistemas estruturais. Já na terceira, contém o sistema de pisos. No concernente a quarta e quinta parte, são informados os requisitos mínimos das vedações verticais (sendo elas internas ou externas) e sistemas de cobertura, respectivamente. E por último, mas não menos importante, apresenta-se os requisitos quanto aos sistemas hidrossanitários.

Para que seja realizada a verificação do desempenho são calculados alguns requisitos abordados na norma. Para os sistemas de vedações verticais externas (SVVE), são estabelecidos os requisitos de transmitância térmica e capacidade térmica de paredes externas, além de abertura para ventilação e de elementos transparentes ou área de superfície dos elementos transparentes.

Há dois métodos distintos para avaliação térmica da edificação, sendo estes o método simplificado e a simulação. O primeiro trata da verificação do requisito mínimo de desempenho por meio de cálculo simples para fachadas e coberturas. A simulação por sua vez, é realizada através de *software*, assim é feita a verificação e adequação do edifício de acordo com os requisitos apresentados na parte um da norma.

Foram realizadas atualizações da NBR 15.575. Conforme a versão de 2013, a avaliação de desempenho do objeto estudado por simulação levava em consideração apenas um arquivo climático por capital era referenciado (com disponibilidade de cerca de 27 arquivos). Assim, a simulação era feita apenas em duas datas do ano levando em consideração somente o dia típico de verão e o dia típico de inverno.

Atualmente, na atualização de 2021, é utilizada a média anual da temperatura externa do local (8760 horas do ano, tendo disponível 411 arquivos climáticos), não sendo mais dependente a simulação da zona bioclimática da região.

Anteriormente também, o projeto era modelado computacionalmente e este protótipo era o único utilizado, agora, após a atualização da norma são necessários dois modelos

computacionais com os mesmos dados climáticos, um será real e o outro denominado modelo de referência. Este último é uma cópia volumétrica do modelo real com características construtivas distintas.

Ainda referente à simulação, anteriormente somente a temperatura era utilizada como indicador para o cálculo do desempenho térmico, que se dividia em três níveis, do mínimo ao superior. Caso não houvesse atendimento, seriam adotadas estratégias de renovação de ar e/ou sombreamento.

Atualmente, nesta simulação é preciso considerar a ventilação natural que avalia aberturas de janelas e venezianas durante uso normal do edifício, e a carga térmica que dá importância à refrigeração por meio de ar condicionado no interior do edifício (em análises de desempenho com níveis intermediário e superior).

Também houve alteração quanto ao padrão de ocupação dos ambientes. Assim, também passa a ser necessário realizar a modelagem de longa permanência de uso de equipamentos elétricos e iluminação artificial, considerando os sistemas de ventilação natural e de condicionamento artificial.

No âmbito da avaliação em relação aos níveis de desempenho, caso atendido é necessário apresentar: Mínimo - apenas simulações de Ventilação Natural; e Intermediário e Superior: simulações de Ventilação Natural e Redução de Carga Térmica.

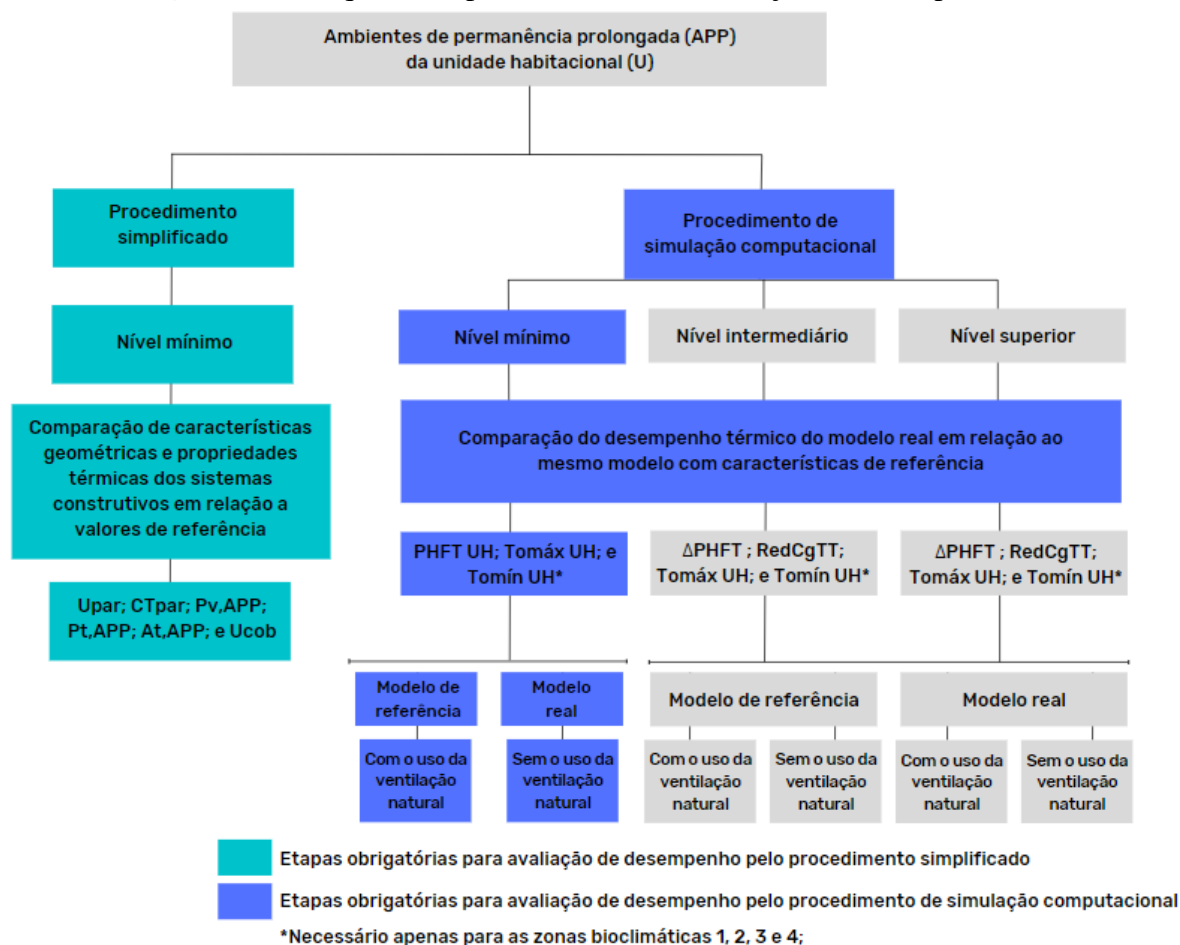
Antes, o nível de desempenho era avaliado para cada ambiente e o menor nível obtido, dentre todos que foram analisados determinava o desempenho térmico do empreendimento. Conforme a atualização de 2021, o nível de desempenho passa a ser avaliado por unidade habitacional (UH), que resulta da média de desempenho de seus respectivos ambientes de permanência prolongada. O menor nível de desempenho entre as UHs determina o desempenho final do empreendimento.

Em casos onde os níveis mínimos de desempenho térmico não forem atingidos, é possível fazer uso de alternativas que possam auxiliar na manutenção do resultado, entre elas: adoção de estratégias arquitetônicas (uso de brises ou venezianas); realizar a alteração das características construtivas do projeto (cor da fachada o mais claro possível, uso de material isolante, tipo e dimensão de esquadrias, por exemplo); Considerar também outras técnicas construtivas como as paredes de alvenaria, Drywall, entre outras; e, ainda, se necessário, pode-se realizar o reposicionamento no terreno.

Quanto ao procedimento simplificado, este consta na avaliação de desempenho térmico mínimo de cada unidade habitacional e possui caráter obrigatório. A análise é realizada por meio de cálculos para determinação de valores de acordo com os parâmetros

indicados nas normas NBR 15575 e NBR 15220. A principal função da avaliação de desempenho simplificado é verificar se o elemento construtivo possui características mínimas quanto à transmitância e capacidade térmica para garantia de habitabilidade, sem risco ao usuário. O método da simulação é utilizado para verificação do atendimento a todos os níveis da norma. O quadro a seguir resume os procedimentos de análise:

Quadro 3 – Esquema de procedimentos de avaliação de desempenho térmico



Fonte: Elaborado pela autora (2023), adaptado de NBR 15575 – 1; Emenda 1 (ABNT, 2021 p 17).

2.5 INI – C

Segundo Pimentel (2020), entre os anos de 2010 e 2018, o uso final de energia nos edifícios aumentou em quase 9%. Em 2019, as edificações somaram um total de 36% do consumo energético no mundo, com tendências crescentes. (INTERNATIONAL..., 2018a, 2018b, 2019a, 2019b, *apud* PIMENTEL, 2020).

A Agência Internacional de Energia apresentou algumas alternativas em 2015, onde, estima-se que o uso de tecnologias avançadas e a adoção de políticas de eficiência energética

no setor da construção podem gerar em torno de 29% de economia do consumo global de energia até 2050. (IEA, Building Energy Performance Metrics, 2015 *apud* ANDRADE, 2016).

Com o aumento populacional, com a demanda energética, aliado ao crescimento econômico, observou-se a necessidade de reduzir o consumo energético dos edifícios por meio de estabelecimento de mecanismos de classificação, avaliação e regulação. Assim surgiram às políticas de desempenho energético, dando posteriormente origem à Instrução Normativa INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia) para Classe de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C).

Em fevereiro de 2021, foi realizada a aprovação e publicação da referida Instrução Normativa (INI-C). A proposta apresenta método para a avaliação da eficiência energética baseado em energia primária dos edifícios com objetivo de realizar a etiquetagem das edificações.

A Portaria N° 42, onde é apresentada a INI-C, foi publicada pelo Diário Oficial da União, no dia 24 de fevereiro de 2021, especificando os critérios e os métodos para a classificação de edificações comerciais, de serviços e públicas quanto à sua eficiência energética.

A classificação é realizada com base no consumo de energia primária, comparando-se o consumo da edificação real com a mesma edificação em uma condição de referência, equivalente à classificação D.

A estimativa do consumo de energia pode ser realizada por meio dos métodos simplificados e de simulação. É possível que os sistemas de uma mesma edificação sejam avaliados pela combinação entre o método simplificado e o método de simulação [...]. (BRASIL, 2021, p. 47).

Assim, o compromisso proposto por estas políticas públicas em adotar melhorias para obtenção de eficiência energética apresenta os direcionamentos para que o objetivo seja alcançado diminuindo o consumo de energia elétrica no país e também no mundo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para que fossem alcançados os objetivos do presente trabalho, foram necessários os atendimentos quanto aos requisitos mínimos de desempenho de acordo com as normas técnicas brasileiras a partir das seguintes etapas:

Etapa 1:

- Caracterização climática e bioclimática da cidade de Palmas, TO, cidade onde foi desenvolvida a pesquisa;

Etapa 2:

- Cálculo do desempenho térmico dos módulos de referência pelo método simplificado da NBR 15220 (ABNT, 2005; 2022), e verificação dos critérios da NBR 15575 (2013; 2021);

Etapa 3:

- Custos de aplicação por meio de orçamento sintético;

Etapa 4:

- Comparação dos resultados dos cálculos simplificados com os custos calculados.

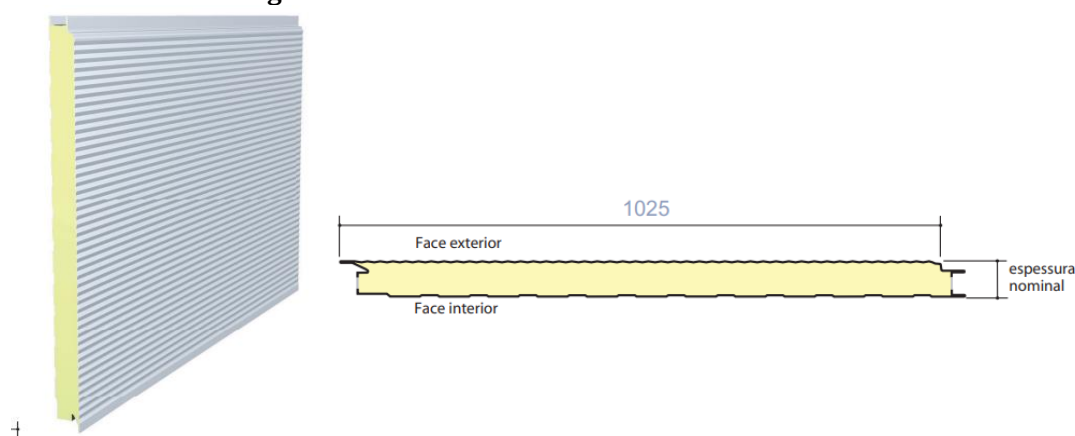
3.1 Objeto de estudo

Os objetos de estudo do presente trabalho foram:

- Placas sanduíche com núcleo em PUR;
- Alvenaria convencional – bloco cerâmico.

Foram utilizadas as Placas sanduíche com núcleo em PUR com painel de 50mm (espessura do núcleo) e placa de aço de 0,5mm de espessura, conforme figura 8:

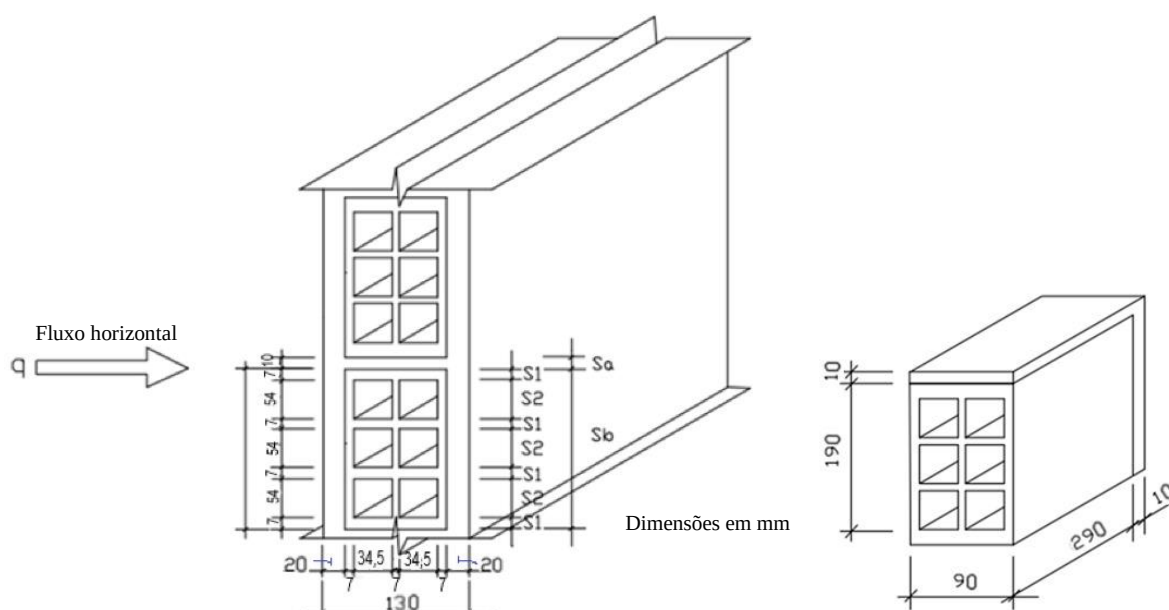
Figura 7 – Placa sanduíche – Modelo base



Fonte: Painel Sandwich de Fachada (ARCELORMITTAL, 2022, p 3).

Para a alvenaria convencional foram utilizados blocos cerâmicos de 6 furos com 9x19x29cm (tamanho comumente utilizado na região), considerando argamassa de assentamento com 1cm de espessura e emboço/reboco de 2cm. Quanto às dimensões das camadas internas dos materiais e camada de ar do bloco, segundo a NBR 15270 (2017, p 12), os septos dos blocos cerâmicos de proporção 9x19x29 devem ter no mínimo 7mm de espessura na parte externa, sem exigência para os septos internos. Considerou-se, pois, 7mm para todos os septos. Dessa forma, as dimensões totais e internas dos blocos consideradas foram:

Figura 8 – Bloco cerâmico – Vista em perspectiva da parede e do Elemento isolado



Fonte: Elaborado pela autora (2023), adaptado de NBR 15220-2 (ABNT, 2003).

3.2 Instrumentos e técnicas

As normas NBR 15220 (ABNT, 2005; 2022), e a NBR 15575 (2013; 2021) são as principais normas utilizadas para a realização do presente trabalho. Ainda, foi utilizada a NBR ISO 10456 (2022) – Materiais e produtos de construção – Propriedades higrotérmicas - Valores e procedimentos de projeto tabulados para determinar valores térmicos declarados e de projeto, para obtenção de dados dos materiais da construção civil.

Quanto à determinação do desempenho térmico, foram obtidos respectivamente a transmitância e a capacidade térmica de cada material. Para que os valores fossem obtidos, foram realizados os cálculos determinados pela NBR 15220-2 (ABNT, 2022). São eles:

- Transmitância térmica:

Equação 1 – Transmitância térmica

$$U = \frac{1}{R_{tot}}$$

Onde:

U é a transmitância térmica, expressa em watts por metro quadrado Kelvin [W/(m².K)].

R_{tot} é a resistência térmica total, expressa em metro quadrado Kelvin por watt (m².K/W).

Fonte: NBR 15220-2 (ABNT, 2022, p 7).

- Resistência térmica:

Equação 2 – Resistência térmica de um material

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

Onde:

R é a resistência térmica do material expressa em metro quadrado Kelvin por watt (m². K/W);

d é a espessura da camada de material do componente, expressa em metro (m).

λ é a condutividade térmica de projeto para o material, expressa em Watt por metro Kelvin (W/(m.K))

Fonte: NBR 15220-2 (ABNT, 2022, p 8).

Equação 3 – Resistência térmica total de componente térmico homogêneo

$$R_{tot} = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n + R_{se}$$

Onde:

R_{tot} é a resistência térmica total, expressa em metro quadrado Kelvin por Watt (m². K/W);

R_{si} é a resistência superficial interna, expressa em metro quadrado Kelvin por (m². K/W);

R₁, R₂, R₃, R_n é a resistência resistências térmicas de projeto para cada camada, expressa em metro quadrado Kelvin por (m². K/W);

R_{se} é a resistência superficial externa, expressa em metro quadrado Kelvin por watt (m². K/W);

Fonte: NBR 15220-2 (ABNT, 2022, p 8).

Equação 4 – Resistência térmica total de um componente térmico com camadas homogêneas e não homogêneas

$$R_{tot} = \frac{R_{tot, sup} + R_{tot, inf}}{2}$$

Onde:

R_{tot} é a resistência térmica total, expressa em metro quadrado Kelvin por Watt ($m^2.K/W$);

$R_{tot, sup}$ é o limite superior da resistência térmica total, expresso em metro quadrado Kelvin por Watt ($m^2. K/W$);

$R_{tot, inf}$ é o limite inferior da resistência térmica total, expresso em metro quadrado Kelvin por Watt ($m^2. K/W$).

Fonte: NBR 15220-2 (ABNT, 2022, p 10).

Equação 5 – Limite superior da resistência térmica total

$$\frac{1}{R_{tot, sup}} = \frac{fa}{R_{tot; a}} + \frac{fb}{R_{tot; b}} + \dots + \frac{fq}{R_{tot; q}}$$

Onde:

$R_{tot, sup}$ é o limite superior da resistência térmica total, expresso em metro quadrado Kelvin por Watt ($m^2. K/W$);

$R_{tot; a}$, $R_{tot; b}$, $R_{tot; q}$ são as resistências térmicas de ambiente a ambiente para cada seção, expressas em metro quadrado Kelvin por Watt ($m^2. K/W$), calculadas de acordo com a equação 3.

fa , fb , fq são as áreas fracionadas de cada seção, expressa em metro (m).

Fonte: NBR 15220-2 (ABNT, 2022, p 11).

Equação 6 – Resistência térmica equivalente para camada térmica não homogênea

$$\frac{1}{R_j} = \frac{fa}{R_{aj}} + \frac{fb}{R_{bj}} + \dots + \frac{fq}{R_{qj}}$$

Onde:

R_j é a resistência térmica equivalente, expressa em metro quadrado Kelvin por Watt ($m^2.K/W$);

R_{aj} , R_{bj} , ... , R_{qj} são os valores de resistência térmica de cada camada térmica não homogênea de cada seção, expressos em metro quadrado Kelvin por Watt ($m^2. K/W$);

fa , fb , ... , fq são as áreas fracionadas de cada seção.

- Resistência térmica de um componente:

Equação 7 – Resistência térmica de um componente

$$R_{c; op} = \frac{1}{U} - R_{si} - R_{se}$$

Onde:

$R_{c; op}$ é a resistência térmica do componente, expressa em metro quadrado Kelvin por watt ($m^2.K/W$);

R_{si} é a resistência térmica superficial interna, expressa em metro quadrado Kelvin por watt ($m^2.K/W$);

R_{se} é a resistência térmica superficial externa, expressa em metro quadrado Kelvin por watt ($m^2.K/W$);

U é a transmitância térmica, expressa em watts por metro quadrado Kelvin [$W/(m^2.K)$].

Fonte: NBR 15220-2 (ABNT, 2022, p 8).

- Capacidade térmica de componentes:

Para determinação da capacidade térmica do material, foram utilizadas as expressões:

Equação 8 – Capacidade térmica de componentes

$$C = \sum_{j=1}^n e_j \cdot c_j \cdot \rho_j$$

Onde:

C é a capacidade térmica, expressa em quilojoules por metro quadrado Kelvin [kJ/(m².K)];

e é a espessura da camada, expressa em metros (m);

c é o calor específico do material da camada, expresso em quilojoules por metro quadrado Kelvin [kJ/(kg.K)];

ρ é a densidade de massa aparente do material da camada, expressa em quilograma por metro cúbico (kg/m³).

Fonte: NBR 15220-2 (ABNT, 2022, p 45).

Equação 9 – Capacidade térmica de componentes com camadas homogêneas e não homogêneas

$$CT = \frac{Aa + Ab + An}{\frac{Aa}{CTa} + \frac{Ab}{CTb} + \frac{An}{CTn}}$$

Onde:

CT é a capacidade térmica do componente da seção, determinada pela equação de capacidade térmica de componentes, expressa em quilojoules por metro quadrado Kelvin kJ/(m².K);

An é a área da seção, expressa em metro (m).

Fonte: NBR 15220-2 (ABNT, 2022, p 45).

Após o cálculo, foram verificados os critérios para os sistemas de vedações verticais externas (SVVE), estabelecidos pela NBR 15575:

Tabela 3 – Transmitância térmica de referência para paredes externas

Transmitância térmica de paredes (U _{par})		
W/(m².K)		
Zonas bioclimática 1 e 2	Zonas bioclimática 3 a 8	
U _{par} ≤ 2,7	α _{par} ^a ≤ 0,6	α _{par} ^a > 0,6
	U _{par} ≤ 3,7	U _{par} ≤ 2,5
^a α_{par} é a absorvância à radiação solar da superfície externa da parede. Recomenda-se a consideração da degradação do desempenho desta superfície, conforme ABNT NBR 15575-1:2021, 11.2 Os limites de α_{par} estabelecem a transmitância térmica de referência que deve ser considerada nas paredes externas. No caso de paredes com superfície externa em chapas metálicas de qualquer natureza, com ou sem aplicação de pintura ou outro acabamento, a superfície externa deve apresentar valor de emitância térmica superior a 0,7, para as zonas bioclimáticas 3 a 8. O valor da emitância térmica deve ser comprovado por meio de laudo técnico conforme a ABNT NBR 15575-1:2021, Tabela 1.		

Unidades habitacionais com APP que adotarem valores de transmitância térmica de paredes externas que ultrapassem os limites desta Tabela devem ser avaliadas por meio do procedimento de simulação computacional, estabelecido na ABNT NBR 15575-1:2021, 11.4.

Fonte: Elaborado pela autora (2023) adaptado de NBR 15575-4 (2021, p 27).

Tabela 4 – Capacidade térmica de referência para paredes externas

Capacidade térmica de paredes (CT _{par}) kJ/(m ² .K)	
Zonas bioclimática 1 a 7	Zona bioclimática 8
CT _{par} ≥ 130	Sem requisito
Unidades habitacionais com APP que adotarem valores de capacidade térmica de paredes externas inferiores aos limites desta tabela devem ser avaliadas por meio do procedimento de simulação computacional, conforme a ABNT NBR 15575-1:2021, 11.4	

Fonte: Elaborado pela autora (2023) adaptado de NBR 15575-4 (2021, p 28).

Entre as mudanças realizadas de 2013 para o ano de 2021, as únicas que sofreram alteração foram a transmitância das zonas bioclimáticas 1 e 2, portanto não houve mudanças nos critérios estabelecidos pela norma para a zona bioclimática 07. Assim, mantêm-se o que está sendo apresentado de forma resumida na tabela abaixo, onde é necessário que as vedações externas na zona bioclimática 07 alcance estes parâmetros indicados.

Tabela 5 – Transmitância e capacidade térmica para zona bioclimática 07

Resistência e capacidade térmica de paredes	
Propriedade	Requisito
Transmitância térmica W/(m ² .K)	U _{par} ≤ 2,5
Capacidade térmica kJ/(m ² .K)	CT _{par} ≥ 130

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Quanto a transmitância térmica, foi considerado o requisito $U_{par} \leq 2,5$ por se tratar de paredes com superfície externa em chapas metálicas e para ser mantido o padrão de análise, foi considerado o mesmo requisito para a vedação convencional pois é tratado como pior cenário possível a ser encontrado.

Para realização do orçamento, foi utilizado os dados disponibilizados no SINAPI do estado do Tocantins para determinação do valor da parede de blocos cerâmicos, e quanto as placas térmicas, por se tratar de material especial, não foi encontrado a referência do material na tabela SINAPI, sendo utilizado, portanto, o valor de mercado ofertado por uma construtora.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização climática e bioclimática

De acordo com o livro *Elaboração das Cartas Climáticas do Estado do Tocantins*, com os dados apresentados pelo Governo, quanto às cartas climáticas, a região de Palmas (TO), é constatada insolação anual em torno de 2400 a 2600 h. No período de novembro a março, há uma média mensal inferior a 160h, e entre julho e agosto há uma quantidade em torno de 280h ou mais, de insolação.

Já quanto à descrição climatológica local apresentada pelo Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais (SONDA), do INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, usando como referência a estação de nome PALMAS (PMA – 19), tem-se informado que possui clima tropical com estação seca no inverno e comportamento climatometeorológico com variações pouco significativas.

De acordo com as descrições feitas por este sistema, é possível observar nitidamente o efeito da continentalidade do clima da cidade, que significa que possui menor umidade e uma maior amplitude térmica, pois por se tratar de uma área localizada do interior de um continente há uma maior variação de temperatura. A temperatura possui característica de isoterminia, que é quando há a transformação gasosa em que a temperatura do sistema permanece constante, onde ocorre variação menor que 5° C, entre a média do mês mais quente ao mês mais frio. As temperaturas máximas tendem a ocorrer nos meses de agosto e setembro, quando atingem valores máximos médios próximos de 35°C. O mês de julho tende a ser o mais frio, atingindo mínima média de 15°C.

Dessa forma, observa-se que a cidade em que se realiza o presente estudo possui um clima seco com ciclo considerado constante, pois mesmo em períodos de inverno predomina o clima tropical, assim há a necessidade de que os ambientes sejam refrigerados artificialmente, e quanto maior a necessidade de ajustar a temperatura interna, maior será o gasto necessário para realização desta atividade.

Quanto à caracterização bioclimática, de acordo com a norma, NBR 15220-3 (2005), a região de Palmas, em que foi realizado o presente estudo, se caracteriza como zona bioclimática 7. Esta informação foi obtida usando como referência a cidade mais próxima, de acordo com os dados apresentados no Anexo A desta norma, no caso, Porto Nacional.

Para cada uma dessas zonas, há a recomendação de diretrizes técnico construtivas,

com o objetivo de garantir o desempenho térmico da edificação que será construída no perímetro que fora analisado. No entanto, as diretrizes são apenas recomendações, diferente da NBR 15575 que apresenta exigências para atendimento ao desempenho, como descrito nos procedimentos metodológicos.

4.2 Desempenho térmico pelo método simplificado

Para cumprimento do cálculo simplificado de desempenho térmico, foram utilizados dados quanto à densidade, calor específico e a condutividade térmica dos materiais, sendo utilizadas as tabelas da NBR ISO 10456 (ABNT, 2022) - Materiais e produtos de construção - Propriedades higrotérmicas - Valores e procedimentos de projeto tabulados para determinar valores térmicos declarados e de projeto, de acordo com o determinado pela norma NBR 15220-2 (2022) para a alvenaria convencional e ainda para a placa sanduíche de aço com núcleo em PUR. Além disso, foram retiradas informações complementares quanto a espessura da placa de aço e da camada de isolamento do Catálogo de painéis sanduíche de fachada da empresa Arcelor Mittal, modelo Hairisol 1025 M, onde foi utilizado os dados referente à espessura do painel de 50mm.

O cálculo simplificado para determinação do desempenho térmico foi realizado considerando que no painel sanduíche a placa possui caráter homogêneo, e ainda, a alvenaria convencional de caráter heterogênea. Para a placa sanduíche de aço com núcleo em PUR foram considerados os seguintes dados:

Tabela 6 – Dados dos materiais – Placa sanduíche núcleo em PUR

Dados	Material	
	Aço	Núcleo em PUR
Densidade ρ - kg/m ³	7800	70
Condutividade térmica λ - W/(m.K)	50	0,05
Calor específico C - J/(kg.K)	450 (0,45 em kJ/(kg.K))	1500 (1,5 em kJ/(kg.K))
e (espessura) – m	0,0005	0,050

Fonte: Adaptado de NBR ISO 10456 (ABNT, 2022) e Painel Sandwich de Fachada (ARCELOMITTAL, 2022, p 3).

Assim foram realizados os cálculos conforme a norma:

De acordo com a equação 2, a resistência térmica de cada material, chapa e núcleo,

considerando a espessura e a condutividade térmica, correspondem a:

$$R_{chapa} = \frac{0,0005}{50} = \mathbf{0,00001} \left(\text{m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}} \right)$$

$$R_{\text{núcleo, pur}} = \frac{0,05}{0,05} = \mathbf{1} \left(\text{m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}} \right);$$

Para cálculo da resistência térmica total da placa, de acordo com a equação 3 é necessária ainda resistência superficial – Horizontal (caso das paredes em que o fluxo de calor tem direção horizontal), são adotados os valores para resistência superficial interna e externa de acordo com os valores presentes na NBR 15220-2 (2022, p. 13), portanto:

$$R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2 \cdot \text{K/W)}$$

$$R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2 \cdot \text{K/W)}$$

Aplicando à equação 3, somando-se as resistências das chapas, do núcleo e as resistências superficiais, têm-se a resistência térmica total da placa sanduíche:

$$R_{TOT} = 0,13 + 0,00001 * 2 + 1 + 0,04 = \mathbf{1,17002} \left(\text{m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}} \right);$$

A partir da resistência total, com o uso da equação 1, foi possível determinar a transmitância da placa sanduíche, sendo, portanto:

$$U_{\text{painel sanduíche}} = \frac{1}{1,17002} = \mathbf{0,8546} \frac{\text{W}}{(\text{m}^2 \cdot \text{K})}$$

A capacidade térmica foi calculada utilizando a equação 8, obtendo os seguintes resultados:

$$C_{\text{painel sanduíche}} = \sum (0,0005 * 0,45 * 7800) * 2 + (0,05 * 1,5 * 70)$$

$$C_{\text{painel sanduíche}} = \mathbf{8,76} \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Para o bloco cerâmico os cálculos foram realizados com os dados a seguir.

Tabela 7 – Dados dos materiais – Parede de bloco cerâmico

Dados	Material	
	Bloco cerâmico	Argamassa
ρ - kg/m ³	1600	1800
λ - W/(m.K)	0,9	1,0
C - J/(kg.K)	920 (0,92 em kJ/(kg.K))	1000 (1,0 em kJ/(kg.K))
Dimensões (cm)	9 x 19 x 29 (ver figura 9)	

Fonte: Adaptado de NBR ISO 10456 (ABNT, 2022).

A análise é realizada por seção (ver figura 9). Iniciando pela seção A, composta apenas por argamassa, a resistência calculada com a equação 2 e 3, considerando a espessura e a condutividade térmica da argamassa e as resistências superficiais, tem-se:

$$R_{argamassa} (R_{seçãoa}) = \frac{0,13}{1,0} = \mathbf{0,13} \left(\text{m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}} \right)$$

$$R_{TOTseçãoa} = 0,13 + 0,13 + 0,04 = \mathbf{0,30} \left(\text{m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}} \right);$$

Na seção B, temos duas subseções, 1 e 2. Na subseção 1, composta por argamassa 20mm + cerâmica 90mm + argamassa 20mm, tem-se:

$$R_{argamassa} = \frac{0,02}{1,0} = \mathbf{0,02} \left(\text{m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}} \right)$$

$$R_{cerâmica} = \frac{0,09}{0,9} = \mathbf{0,1} \left(\text{m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}} \right)$$

$$R_{subseção1} = 0,02 * 2 + 0,1 = \mathbf{0,14} \left(\text{m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}} \right);$$

$$R_{TOTsubseção1} = 0,13 + 0,14 + 0,04 = \mathbf{0,31} \left(\text{m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}} \right);$$

Na subseção 2, composta por argamassa 20mm + cerâmica 7mm + camada de ar 34,5mm + cerâmica 7mm + camada de ar 34,5mm + cerâmica 7mm + argamassa 20mm, precisa-se ainda de valores de resistência térmica de camadas de ar. Segundo a NBR 15220 (ABNT, 2021, p. 15), a resistência das camadas de ar não ventiladas dependem da espessura da camada e da direção do fluxo de ar. Para camadas de 34,5mm na direção de fluxo horizontal, tem-se resistência de 0,16, valor apresentado na tabela 08 da NBR 15220-2 (2022, p 15). Portanto, tem-se:

$$R_{argamassa} = \frac{0,02}{1,0} = \mathbf{0,02 \left(m^2 \cdot \frac{K}{W} \right)}$$

$$R_{cerâmica} = \frac{0,007}{0,9} = \mathbf{0,00778 \left(m^2 \cdot \frac{K}{W} \right)}$$

$$R_{subseção2} = 0,02 * 2 + 0,00778 * 3 + 0,16 * 2 = \mathbf{0,38334 \left(m^2 \cdot \frac{K}{W} \right)};$$

$$R_{TOTsubseção2} = 0,13 + 0,38334 + 0,04 = \mathbf{0,55336 \left(m^2 \cdot \frac{K}{W} \right)};$$

Para obter o cálculo da Resistência térmica total, foi necessário calcular limite superior e inferior da resistência térmica total (equação 4). É necessário verificar a proporção (fração) de cada seção da parede. Utilizou-se como referência o elemento isolado. Verificando a figura 9, tem-se:

Área total do elemento isolado: $0,300m \times 0,200m = 0,06m^2$

Área da seção a: $(0,010m \times 0,300m) + (0,010m \times 0,190m) = 0,0049m^2$

Área da subseção 1: $4 \times (0,007m \times 0,290m) = 0,00812m^2$

Área da subseção 2: $3 \times (0,054m \times 0,290m) = 0,04698m^2$

Fração resultante:

Área total do elemento isolado: $0,06m^2 = 1$ (ou 100%)

Área da seção a: $0,0049m^2/0,06m^2 = 0,08167$ (ou 8,167%)

Área da subseção 1: $0,00812m^2/0,06m^2 = 0,13533$ (ou 13,533%)

Área da subseção 2: $0,04698m^2/0,06m^2 = 0,783$ (ou 78,3%)

Aplicando a equação 5, tem-se o limite superior da resistência térmica total:

$$\frac{1}{R_{tot, sup}} = \frac{0,08167}{0,3} + \frac{0,13533}{0,31} + \frac{0,783}{0,55336}$$

$$R_{tot, sup} = 0,47086 \left(m^2 \cdot \frac{K}{W} \right)$$

Aplicando a equação 6, tem-se resistência térmica equivalente, necessária para calcular o limite inferior da resistência térmica total.

$$\frac{1}{R_j} = \frac{0,08167}{0,13} + \frac{0,13533}{0,14} + \frac{0,783}{0,38334}$$

$$R_j = 0,27492 \left(m^2 \cdot \frac{K}{W} \right)$$

Para calcular limite inferior da resistência térmica total, a norma apresenta duas opções: utilizar novamente a equação 3; ou usar um método alternativo da Equação 2. Neste trabalho, optou-se pela utilização da Equação 3:

$$R_{tot, inf} = R_{si} + R_j + R_{se} = 0,13 + 0,27492 + 0,04$$

$$R_{tot, inf} = 0,44492 \left(m^2 \cdot \frac{K}{W} \right)$$

Aplicando a equação 4 e 1, tem-se a Resistência térmica total da parede de alvenaria convencional:

$$R_{tot \text{ alvenaria convencional}} = \frac{0,47086 + 0,44492}{2}$$

$$R_{tot \text{ alvenaria convencional}} = 0,45789 \left(m^2 \cdot \frac{K}{W} \right)$$

$$U_{alvenaria \text{ convencional}} = \frac{1}{0,45789} = 2,1839 \frac{W}{(m^2 \cdot K)}$$

Para calcular a capacidade térmica total, foi necessário calcular a capacidade térmica de cada seção, utilizando a equação 8, obtendo os seguintes resultados:

$$C_{seçãoa} = \sum (0,13 * 1 * 1800) = 234 \frac{kJ}{m^2.K}$$

$$C_{seção1} = \sum (0,02 * 1 * 1800) * 2 + (0,09 * 0,92 * 1600) = 204,48 \frac{kJ}{m^2.K}$$

$$C_{seção2} = \sum (0,02 * 1 * 1800) * 2 + (0,007 * 0,92 * 1600) * 3 = 102,912 \frac{kJ}{m^2.K}$$

Para calcular a Capacidade térmica total da Alvenaria convencional (material não homogêneo) utilizou-se a equação 9, considerando a área de cada seção (ver elemento isolado na figura 9):

$$CT_{Alvenaria\ convencional} = \frac{0,0049 + 0,00812 + 0,04698}{\frac{0,0049}{234} + \frac{0,00812}{204,48} + \frac{0,04698}{102,912}}$$

$$CT_{Alvenaria\ convencional} = 116,02 \frac{kJ}{m^2.K}$$

Para análise final, os dados foram dispostos em forma de tabela, cujos dados estão organizados em paralelo, de forma a visualizar os resultados de cada um dos métodos para que esses valores sejam comparados, ainda verificando o status de aprovação conforme solicitado através das normas, e seja determinado o mais vantajoso sobre os materiais para aplicação em hospitais na cidade de Palmas - TO.

Tabela 8 – Dados obtidos – Placa sanduíche x Parede de bloco cerâmico

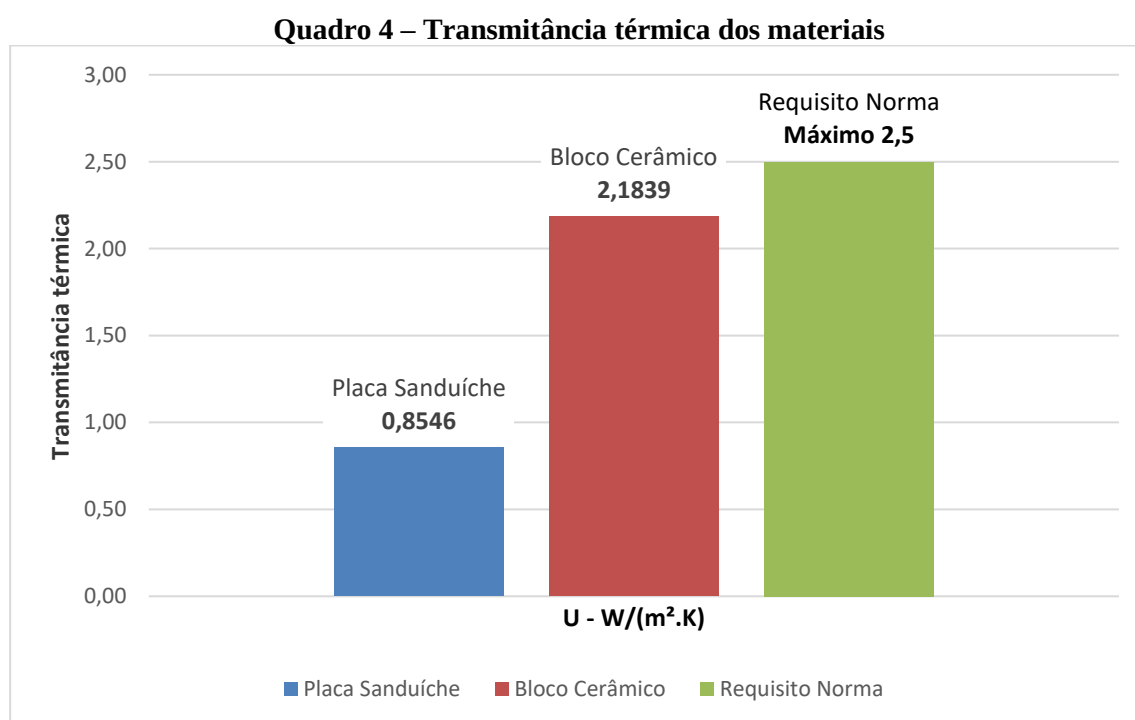
Propriedades	U - W/(m².K)	CT - kJ/(m².K)	STATUS DE APROVAÇÃO Atende x Não atende	
			U	CT
Placa sanduíche	0,8546	8,76	Atende	Não atende
Parede bloco cerâmico	2,1839	116,02	Atende	Não atende

Fonte: Autoria própria.

A transmitância térmica (U) é a capacidade da parede de transmitir calor e a capacidade térmica (CT) é a quantidade de calor que o corpo tem que receber para variar a temperatura e ambas devem atender aos limites exigidos em norma de acordo com cada zona, no caso aqui estudado é necessário atendimento as diretrizes da zona 7 (sete).

4.3 Análise de resultados

Para melhor entendimento e visualização dos resultados obtidos, foram construídos gráficos para comparação dos materiais, que seguem logo abaixo. O quadro 4 apresenta o resultado referente à transmitância térmica.



Fonte: Autoria própria.

Analisando o gráfico acima nota-se que a placa sanduíche e a parede de alvenaria em bloco cerâmico apresentam valor inferior ao limite permitido pela norma, que diz que a transmitância térmica deve ser menor ou igual a 2,5 W/(m².K).

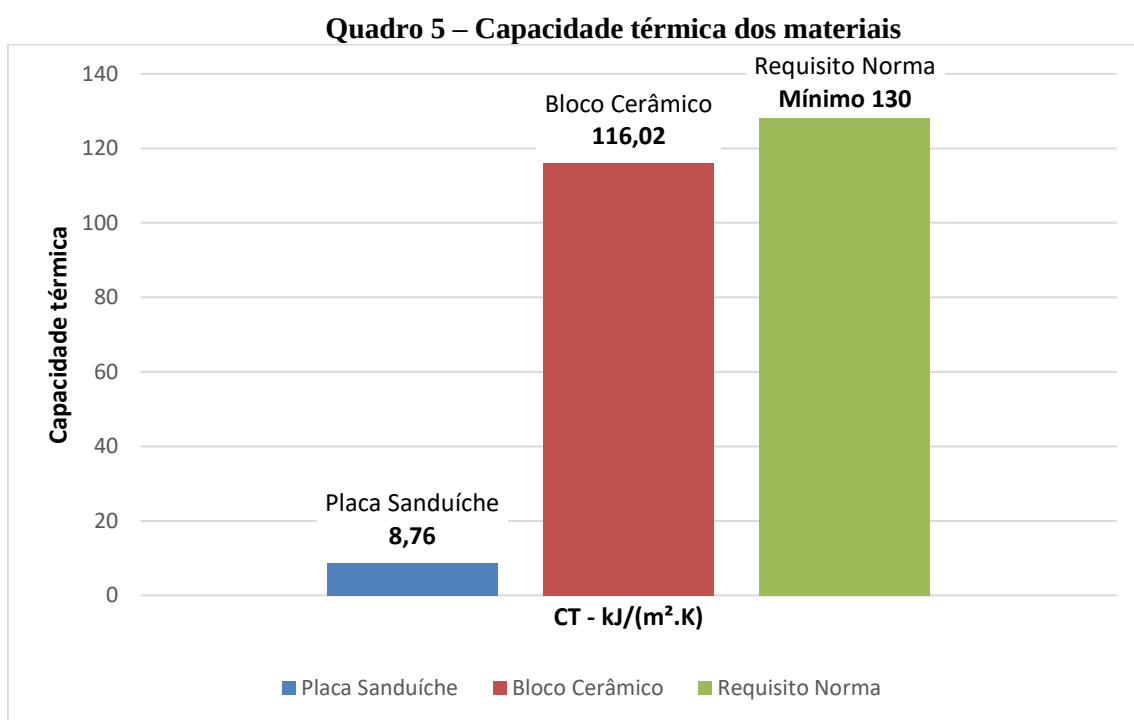
Mas, de toda forma, entende-se que a transferência de calor nas placas sanduíche ainda é mais vantajosa do que a parede de alvenaria, já que quanto menor o valor, melhor é o material nesta característica. Portanto, há uma diferença aproximada de quase duas vezes e meia ao valor apresentado pelo bloco cerâmico, sendo, portanto, inferior à placa.

Apesar de possuir espessura menor que a de blocos cerâmicos 9x 19x 29 cm, a placa

sanduíche possui uma maior eficiência em relação à transmitância térmica por conta do seu núcleo isolante, reduzindo consideravelmente a transferência de calor para dentro dos ambientes.

Quanto à capacidade térmica, que é a quantidade de calor que o corpo tem que receber para variar a temperatura, pode-se verificar no gráfico 5 que também houve diferença, de um material sob o outro, em relação aos dois sistemas construtivos.

Em outras palavras a capacidade térmica é referida como a quantidade de calor exigida para que seja realizada a variação de 1 grau da temperatura, independente se o calor é adicionado (entra) ou se é perdido (sai) do corpo/objeto, assim, quanto maior for o valor obtido, maiores serão as vantagens. Para melhor entendimento sobre os números determinados pela capacidade térmica, entende-se que, quanto maior o calor específico, maior será a quantidade de energia necessária para que seja feito o aquecimento do material.



Fonte: Autoria própria.

Dessa forma, ao analisar o quadro 5, é possível identificar que os materiais não alcançaram o valor mínimo indicado na norma, de forma que, o bloco cerâmico possui maior capacidade térmica em comparação ao outro material, tendo 116,02 kJ/(m².K) enquanto para realizar o aquecimento da placa sanduíche são necessários somente 8,76 kJ/(m².K).

Assim, observa-se que há uma variação muito grande em relação a estes dois itens analisados no presente estudo, onde a capacidade térmica apresenta uma diferença superior a

treze vezes. Portanto, é visível que a placa sanduíche apresenta pior desempenho neste quesito.

Em contrapartida, de acordo com MAIA (2020), a capacidade térmica dos materiais pode não ser fator determinante na escolha de um sistema construtivo se este for utilizado em conjunto com estratégias de sombreamento, que é imprescindível para garantia de conforto térmico do edifício durante todo ano na cidade de Palmas - TO. Pois estratégias de sombreamento farão com que o material não receba aquecimento diretamente e consequentemente não seja necessário se utilizar de sua capacidade térmica com frequência.

4.4 Análise de custo

Para determinação de custo do bloco cerâmico, foi utilizado como base a tabela SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil, disponibilizada pela Caixa Econômica Federal. Esta ferramenta, faz a análise e divulgação de dados referente a construção civil, seus custos e preços, na região determinada. No caso, no estado do Tocantins foi utilizado os dados base do mês de janeiro de 2023, portanto, os dados apresentados fazem parte dos itens mais atuais disponibilizados.

Pela tabela de custos de composição analítica, o valor do metro quadrado custa em torno de R\$55,00/m², sendo cerca de 32% deste valor destinado a mão de obra, portanto, somente os materiais correspondem a aproximadamente 68% do valor total neste sistema construtivo.

Já para determinação do custo do painel sanduíche, foi utilizado o valor de mercado. Este que foi disponibilizado por uma empresa especializada na prestação de serviços em estrutura metálica com experiência neste sistema construtivo, localizada em Rondônia que já realizou serviços na cidade de Palmas - TO, portanto já possui mão de obra qualificada na região.

Assim, levou-se também em consideração o primeiro mês do ano de 2023 para obtenção dos valores apresentados em questão. Dessa forma, foi apresentado o valor total de R\$171,80/m², sendo neste caso 29% do valor direcionado à mão de obra (custo de aplicação do material) e o restante, cerca 71% referente ao valor do material.

4.5 Relação Custo x Benefício dos painéis sanduíche estudados

No que se refere ao benefício dos materiais estudados, foi observada uma grande diferença entre os requisitos analisados. Ambos foram recusados quanto a análise da capacidade térmica dos materiais, em contrapartida, os dois foram aceitos no quesito transmitância.

Após a realização dos cálculos por meio das normas, a placa sanduíche apresentou o melhor valor, referente à transmitância térmica, sendo este superior em cerca de 2,55 vezes em comparação a vedação em bloco cerâmico.

De acordo com Goulart (2022), a relação é proporcional, de modo que se têm valores baixos da transmitância térmica, as trocas térmicas dos ambientes internos e externos também serão menores. Dessa forma, um edifício será considerado mais eficiente energeticamente, e consequentemente será mais econômico que outro, quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia. (Lamberts *et al.*, 1997, p.14.).

Portanto, um sistema construtivo, ou material, que apresenta um valor baixo quanto à sua transmitância térmica possui maior benefício em relação a elementos construtivos com valores maiores, sendo neste caso mais vantajoso se utilizar dos painéis sanduíches pois poderá trazer maior economia energética ao edifício.

Segundo MAIA (2020), para que seja obtido um bom conforto térmico, e consequentemente maior eficiência energética, é recomendado o uso de estratégias que permitam alta inércia térmica ao sistema construtivo. Esta que é obtida com o uso de materiais mais espessos, mais densos, que retém calor, como as vedações em alvenaria convencional. No entanto, por se tratar de materiais permanentes há dificuldade na sua aplicação sazonal, não sendo recomendada sua utilização nas épocas úmidas.

Portanto, entende-se que materiais utilizados nas vedações externas que não apresentem dificuldades quanto a seu desempenho térmico durante o ano e que possua transmitância térmica baixa, combinadas as estratégias de sombreamento, como é recomendado por MAIA (2020), poderão auxiliar diretamente no conforto térmico da edificação, e consequentemente na sua eficiência energética já que serão utilizadas menos estratégias de resfriamento interno.

A vista disso, de modo que a placa sanduíche é tratada como um material seco, sem variações quanto a seu uso, com uma pequena transmitância térmica, entende-se que mesmo possuindo baixa espessura haverá pouca transferência de calor para a parte interna da

edificação, podendo então este material ser um aliado quanto a obtenção de inércia térmica, mesmo tendo apresentado capacidade térmica inferior ao determinado pela norma.

Já, quanto ao critério de custo, o item bloco cerâmico possui o menor valor apresentado, sendo este cerca de 3,13 vezes menor em relação aos painéis, se analisada somente o uso do material e a mão de obra para aplicação.

Mas orienta-se ainda que, seja levado em consideração o custo quanto a se utilizar um material de maior peso específico na construção de um edifício. Com o uso de materiais mais pesados pode haver a necessidade das estruturas (de sustentação e de fundação) do edifício serem maiores para que seja possível suportar as cargas referente ao material que será aplicado se comparado ao uso de materiais leves.

Mesmo as vedações externas sendo responsáveis por cerca de 6% do valor total da obra, o custo total da edificação será um dos fatores essenciais para definição dos materiais a serem utilizados, mesmo este não sendo discutido nesta pesquisa. Estruturas pesadas poderão ter um custo superior se comparado com estruturas leves, como são caracterizadas as placas sanduíches.

Em suma, julga-se que, apesar de possuir um valor inferior, em casos de edifícios comerciais com grande área construída em que se utiliza as vedações em blocos cerâmicos, haverá um maior custo quanto a execução de sua fundação e estrutura esquelética para que estas possuam capacidade suficiente de suportar as cargas aplicadas pelo peso dos materiais, visto que as placas sanduíches podem ser consideradas leves e a vedação em bloco cerâmico considerada pesada por conta do execução por conformação, se comparada entre elas.

Ainda, materiais com capacidade de auxiliar no controle da temperatura interna, como as placas sanduíches, trarão maior economia quanto ao consumo energético do edifício, sendo neste caso um bom método para geração de economia em longo prazo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O foco da presente pesquisa se deu em realizar análise comparativa entre o desempenho térmico dos materiais, de acordo com as normas atuais. Assim, seria possível analisar se é vantajoso fazer o seu uso em ambiente comercial – Hospitalar.

Os materiais utilizados como base para este trabalho, como os painéis sanduíches e os blocos cerâmicos, são bem diferentes um do outro, um destes está entre os principais materiais utilizados para aplicação em edificações e o outro ainda não é empregado com frequência nas construções.

Por este motivo, optou-se por analisá-los e fazer uma comparação de desempenho térmico entre a placa e o bloco convencional, e ainda, conferir o atendimento quanto as normas técnicas que trazem certas exigências, como a NBR 15220 (ABNT, 2022) e a NBR 15575 (ABNT, 2021).

Os sistemas construtivos analisados não atenderam completamente as exigências solicitadas na NBR 15220 (ABNT, 2022). O bloco cerâmico apresenta transmitância térmica (U) próxima ao limite determinado, tendo alcançado o valor de $2,18 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$. Já, o painel sanduíche obteve o valor de $0,85 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$. Assim, pôde-se observar a diferença dos materiais, após análise da transmitância térmica, sendo que a parede de blocos cerâmicos atingiu valor inferior quando comparada a placa *TermoWall* (painel sanduíche).

Quanto aos valores obtidos após a realização dos orçamentos, entende-se que, em relação a benefício, as placas sanduíche, mesmo sendo o material de maior valor ainda são estes que apresentam melhores características se comparadas aos blocos cerâmicos, levando ainda em consideração a hipótese de que deverá ser destinado um valor maior para que as estruturas suportem o peso da vedação convencional. Portanto, o uso dos painéis apresenta grandes vantagens acerca da sua utilização de fato.

Como tratado anteriormente, de acordo com Goulart, conforme a relação proporcional da transmitância térmica, quanto menor o seu valor, menor serão as trocas térmicas dos ambientes internos e externos. Dessa forma, o uso das placas sanduíche dá mais benefícios que o outro material.

Para a presente pesquisa, portanto, entende-se que é mais vantajoso utilizar-se das placas do tipo sanduíche, no sentido de garantir o melhor desempenho térmico em relação às paredes convencionais construídas com bloco cerâmico, principalmente na aplicação comercial como em ambiente hospitalar, uso atual na cidade de Palmas, TO. Pois, dessa

forma, há uma maior economia quanto a gastos para ajuste de conforto térmico da edificação e ainda, menor custo quando a estrutura do edifício por se tratar de um material leve.

Posto isso, esse trabalho tem o potencial de contribuir com estudos futuros em relação a utilização de sistemas construtivos não convencionais para uso em vedação externa. Para novos estudos aconselha-se estudar a simulação computacional de uma estrutura completa conforme o apresentado na NBR 15575-1 (ABNT, 2021), para que seja analisado seu desempenho e conforto térmico em diferentes materiais, a fim de se obter um maior detalhamento quanto a sua aplicação.

Ainda, recomendam-se mais investigações quanto ao uso destes materiais, sendo possível, por exemplo, realizar análise por meio de ensaios pelos princípios da placa quente protegida ou fluximétrico, e também, da realização de medições in loco, ou com auxílio de células teste por períodos longos de análise para se obter dados o mais próximo possível da realidade.

Ainda, também faz-se necessário uma análise mais detalhada quanto aos possíveis gastos energéticos e sua determinação de economia ao longo do tempo, como é o caso de uso de condicionadoras de ar para ajuste de temperatura interna.

Quanto da recomendação das estratégias construtivas, no que se diz respeito à capacidade térmica, os valores obtidos pelos materiais não atingiram o determinado pela norma, portanto é recomendada a realização de análise com maior detalhamento.

Além disso, recomenda-se que seja realizada análise quanto à adição de material para composição de estrutura de vedação, como em casos de utilização de drywall em sua parte interna, podendo agregar quanto às características de desempenho térmico.

Com base no estudo realizado por MAIA (2020), os materiais a serem utilizados devem auxiliar no controle da inércia térmica já que este pode influenciar diretamente no conforto térmico da edificação. Ainda, o uso de estratégias de sombreamento é imprescindível para um melhor conforto térmico do edifício durante todo ano. Portanto, se esta orientação for seguida, a capacidade térmica dos materiais não será fator determinante na escolha do sistema construtivo.

Dessa forma, mesmo que a placa sanduíche com núcleo em PUR, não tenha atendido a todos os tópicos solicitados pelas normas vigentes, entende-se que a sua utilização poderá trazer benefícios quanto à eficiência energética do edifício, por conta de sua característica quanto à transmitância térmica. Pois, quanto menor a possibilidade de transferência de calor, mais vantajoso poderá ser o uso deste material, tendo potencial de obter maior desempenho quanto ao conforto térmico se comparado à vedação convencional. Portanto, materiais como o

caso da Placa sanduíche, apesar de não atenderem ao critério de capacidade térmica da norma, apresentam ainda grande potencial a ser investigado.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Bruna Fuzzer de. **Padrões normativos, ensaios experimentais e análise da performance acústica de telhas sanduíche**. Orientador: Dra. Dinara Xavier da Paixão. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2016.

ANDRADE, F. DE. **Estudo de caso: simulação computacional de desempenho energético do edifício da empresa MGD Eficiência Energética**. [s.l.] Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 18 nov. 2016.

ARCELORMITTAL. **Painéis Sandwich de Fachada**. [s.l: s.n.]. Disponível em: https://construction.arcelormittal.com/medias/sys_master/amc-media/amc-media/h08/hb4/8989239443486/Arcelormittal-Portugal-Catalogo-Painel-Fachada.pdf. Acesso em: 5 nov. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR ISO 10456**: Materiais e produtos de construção - Propriedades higrótérmicas - Valores e procedimentos de projeto tabulados para determinar valores térmicos declarados e de projeto. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 1 - Requisitos. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15520**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15575**: Edifícios Habitacionais - Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013; 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15575**: Edifícios Habitacionais - Desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas. Rio de Janeiro, 2013; 2021.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - Inmetro. Portaria nº 42, de 24 de fevereiro de 2021. **Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C)**. Diário Oficial da União, Brasília - DF, 2021.

DA FAZENDA, S. et al. **GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS**. Disponível em: <https://central.to.gov.br/download/213396>. Acesso em: 9 dez. 2022.

DE ANDRADE, F. **APOSTILA CURSO DE ENGENHARIA ELETRÔNICA**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa - PR. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/16209/2/PG_COELE_2016_2_06.pdf. Acesso em: 9 dez. 2022.

DOW, HENKEL, PECOLIT and SIKA COMPANY, **Sandwich Panels in Vehicle Construction**, Verlag Moderne Industrie, 2006.

- GOULART, S. **Sustentabilidade nas Edificações e no Espaço Urbano**. [s.l: s.n.]. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV5161_Sustentabilidade_apostila_0_0.pdf. Acesso em: 9 dez. 2022.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico** - Tabela 149 – Domicílios particulares permanentes por tipo de material da cobertura, tipo de material das paredes e situação. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/149#resultado>. Acesso em: 11 nov. 2021.
- IEA, INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Building Energy Performance Metrics**. Paris, 2015.
- FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de Conforto Térmico: arquitetura, urbanismo**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.
- JAIME, P. V. A. **Caracterização do uso de chapas de gesso acartonado e o controle da geração de resíduo na execução de vedações verticais internas**. [s.l.] Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2018.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: PW, 1997. 192 p
- LOURENÇO, Pedro Pereira. **Comportamento a temperatura elevada de materiais de núcleo utilizados em painéis sanduíche em compósitos de GFRP**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de Lisboa, Lisboa, 2018.
- MAIA, C. S. **Recomendações para aplicação de estratégias construtivas bioclimáticas em Palmas – TO**. Palmas - TO: Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Tocantins, 2020.
- PBEDIFICA; PROCEL; INMETRO. **Interface do Metamodelo INI-C**. Disponível em: <http://pbeedifica.com.br/redes/comercial/index_with_angular.html>. Acesso em: 28 nov. 2021.
- PIMENTEL, B. P. et al. **Comparação dos métodos simplificado e de simulação propostos no novo regulamento brasileiro de etiquetagem de edificações públicas**. Ambiente construído, v. 21, n. 4, p. 179–200, 2021.
- SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de Métodos, Processos e Sistemas construtivos - Formulação e Aplicação de uma Metodologia**. [s.l.] Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Departamento da Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo - SP, 1989.
- SABBATINI, F. H.; FRANCO, L. S.; BARROS, M. M. S. B. Capítulo 1: Fundamentos. In: **Tecnologia de Vedações Verticais**. Apostila, São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: Versão Revisada, 2013. p. 17–25.
- SARTORI, Ana Paola. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos sanduíche para isolamento térmico**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2009.

SAVAS, Guilherme Wilberstaedt. **Análise de sistemas de vedação vertical para edificações**. 2021. Trabalho conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

SILVA, Patrícia Emília Villela; MOREIRA, Rodrigo Resende. **Análise de sistemas de vedação vertical para edificações**. 2017. Trabalho conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

SONDA - **Estação de Palmas**. Disponível em:
<<http://sonda.ccst.inpe.br/basedados/palmas.html>>. Acesso em: 9 dez. 2022.

TANIGUTI, E. K. **Método construtivo de vedação vertical interna de chapas de gesso acartonado**. [s.l.] Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo - SP, 1999

UNIVERSITY OF YORK. The Essential Chemical Industry – online: **Polyurethanes**. 2017. Disponível em: <<https://www.essentialchemicalindustry.org/polymers/polyurethane.html>>. Acesso em: 28 nov. 2021.

VILAR, W. D. **Química e Tecnologia dos Poliuretanos**, 3ª edição, Rio de Janeiro – RJ, 2005.