



BRUNA RESENDE FAGUNDES PEREIRA

**MATERIAIS ALTERNATIVOS PARA DIVISÕES INTERNAS
EM CONSTRUÇÕES**

Lavras-MG

2020

BRUNA RESENDE FAGUNDES PEREIRA

MATERIAIS ALTERNATIVOS PARA DIVISÕES INTERNAS EM CONSTRUÇÕES

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais, área de concentração em Compósitos Lignocelulósicos, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Rafael Farinassi Mendes

Orientador

Prof. Dr. Raphael Nogueira Rezende

Coorientador

Lavras-MG

2020

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Pereira, Bruna Resende Fagundes.

 Materiais alternativos para divisões internas em construções /
Bruna Resende Fagundes Pereira. - 2020.

 77 p. : il.

 Orientador(a): Rafael Farinassi Mendes.

 Coorientador(a): Raphael Nogueira Rezende.

 Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2020.

 Bibliografia.

 1. Construção civil. 2. Materiais de construção. 3. Painéis. I.
Mendes, Rafael Farinassi. II. Rezende, Raphael Nogueira. III.
Título.

O conteúdo desta obra é de responsabilidade do(a) autor(a) e de seu orientador(a).

BRUNA RESENDE FAGUNDES PEREIRA

**MATERIAIS ALTERNATIVOS PARA DIVISÕES INTERNAS EM CONSTRUÇÕES
ALTERNATIVE MATERIALS FOR INTERNAL DIVISIONS IN CONSTRUCTIONS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais, área de concentração em Compósitos Lignocelulósicos, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 15 de abril de 2020.

Dr. Rafael Farinassi Mendes – UFLA

Dr. Tiago José Pires de Oliveira – UFLA

Dr. David Cardoso Dourado – UNIFESSPA

Prof. Dr. Rafael Farinassi Mendes

Orientador

Prof. Dr. Raphael Nogueira Rezende

Coorientador

Lavras-MG

2020

Ao meu marido e aos meus pais.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me dar forças para prosseguir, paz nos momentos mais difíceis e sabedoria nas horas mais precisas, pois sem Ele nada seria e nada faria.

Ao meu esposo por sempre me incentivar a buscar conhecimento e sabedoria, me apoiando em todas as decisões. Agradeço também pela paciência nos momentos árduos e pelo amor e carinho diários.

Aos meus pais, pelo amor incondicional que me deram a vida inteira, contribuindo para minha formação como ser humano e pelo apoio sempre gentil.

Ao meu orientador, professor Doutor Rafael Farinassi Mendes, pela orientação cuidadosa, pela paciência nos momentos de ansiedade, pelos ensinamentos repassados durante este período e por ter se tornado um amigo.

Ao meu coorientador, professor Doutor Raphael Nogueira Rezende, pela colaboração e ensinamentos pontuais.

Aos meus irmãos, cunhados e sobrinha/afilhada Lavínia pelo carinho sempre concedido a mim e pela compreensão em momentos de minha ausência.

Aos colegas de trabalho e amigos da UFLA, que conquistei nesse percurso, em especial, Laís, Nayra, Carol, Juliana, Lorena, Thalita, Nayane, Ticyane, Queilla, Tony e Alan, pelo companheirismo e auxílio.

Aos membros do NEIMAC – Núcleo de Estudos e Inovações em Materiais Compósitos -, pelos bons momentos de convivência e aprendizagens.

À Universidade Federal de Lavras e aos Programas de Incentivo à Pesquisa, FAPEMIG, CAPES e CNPQ pelo financiamento do projeto e da bolsa de mestrado e por me permitirem realizar os trabalhos que me ajudaram a crescer.

Aos membros que compõem a banca, que gentilmente aceitaram participar e colaborar com esta pesquisa, pela oportunidade de discussão e enriquecimento deste trabalho.

MUITO OBRIGADA!!

RESUMO

A preocupação em promover o bem-estar das pessoas por meio de moradias e edificações e a preocupação com a sustentabilidade, leva à pesquisa e busca, tanto por parte da indústria quanto dos profissionais da área e até mesmo dos consumidores, por novos tipos de materiais a serem aplicados em construções na engenharia civil, com o objetivo de obter novas propriedades como melhor isolamento térmico e acústico associado a questão de melhor viabilidade econômica, permitindo atender com mais opções e qualidade o consumidor final. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi estudar materiais alternativos para aplicações como divisórias internas em construções. Foram analisados como divisórias o *Drywall*, comumente já utilizado em construções civis internas, os painéis cimento- madeira, Oriented Strand Board (OSB) e os painéis colméia - *honeycomb*. Esses materiais foram analisados quanto às suas propriedades físicas (absorção de água e inchamento em espessura em duas e vinte e quatro horas de imersão, porosidade e densidade); propriedades mecânicas (módulo de ruptura e módulo de elasticidade em flexão, compressão e dureza janka), combustibilidade, propriedades térmicas, acústicas, microestruturais e também quanto a análise de custos. Dentre os tipos de materiais alternativos avaliados como opção para substituir os painéis *drywall*, os painéis OSB foram os que obtiveram o melhor desempenho para aplicações como divisórias internas, apresentando o melhor desempenho quanto as propriedades físicas, mecânicas e isolamento térmico, e obtendo desempenho acústico semelhante à dos painéis *drywall*. Porém, obtiveram o menor desempenho quanto a resistência a incêndios, e ainda o maior custo dentre os diferentes tipos de divisórias internas avaliadas. Apesar disso, os painéis OSB e *drywall* atenderam a todos os critérios da norma para aplicações para divisórias internas, podendo assim serem utilizados para divisórias internas de residências e pontos comerciais. Cabendo ao consumidor decidir quais tipos de características deseja para sua construção e levar em conta a relação custo-benefício mais apropriada.

Palavras-chave: Construção civil. Materiais de construção. Painéis. Isolamento acústico e térmico.

ABSTRACT

The concern to promote people's well-being through housing and buildings and the concern with sustainability, leads to research and search, both by industry and professionals in the area and even consumers, for new types of materials to be applied in civil engineering constructions, with the objective of obtaining new properties such as better thermal and acoustic insulation associated with the issue of better economic viability, allowing to serve the final consumer with more options and quality. In this context, the objective of this work was to study alternative materials for applications as internal partitions in buildings. Drywall, commonly used in internal civil constructions, cement-wood panels, Oriented Strand Board (OSB) and honeycomb panels were analyzed as partitions. These materials were analyzed for their physical properties (water absorption and thickness swelling in two and twenty-four hours of immersion, porosity and density); mechanical properties (rupture module and elasticity module in flexion, compression and janka hardness), combustibility, thermal, acoustic, microstructural properties and also regarding cost analysis. Among the types of alternative materials evaluated as an option to replace drywall panels, OSB panels were the ones that obtained the best performance for applications as internal partitions, presenting the best performance in terms of physical, mechanical and thermal insulation properties, and achieving similar acoustic performance. drywall panels. However, they obtained the lowest performance in terms of fire resistance, and still the highest cost among the different types of internal partitions evaluated. Despite this, the OSB and drywall panels met all the standard criteria for applications for internal partitions, thus being able to be used for internal partitions of homes and commercial points. It is up to the consumer to decide what types of characteristics he wants for his construction and to take into account the most appropriate cost-benefit ratio.

Keywords: Civil construction. Building materials. Panels. Acoustic and thermal insulation.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1 – Paredes divisórias de <i>drywall</i>	10
Figura 2 – Parede divisória de painel Oriented Strand Board.....	13
Figura 3 – Parede divisória de painel cimento-madeira.....	14
Figura 4 – Esquema de painel sanduíche com estrutura colmeia.....	17

CAPÍTULO II - Artigo

Figura 1 – Esquema de retirada dos corpos-de-prova dos painéis.....	26
Figura 2 – Desenho esquemático do equipamento de desempenho térmico.....	31
Figura 3 – Planta esquemática residencial.....	34
Figura 4 – Valores médios de densidade aparente dos diferentes tipos de painéis avaliados para aplicação como divisórias internas.....	35
Figura 5 – Valores médios de absorção de água dos diferentes tipos de painéis avaliados para aplicação como divisória interna.....	37
Figura 6 – Perda da estrutura dos painéis após imersão em água após período de 24h.....	38
Figura 7 – Valores médios de inchamento em espessura dos diferentes tipos de painéis avaliados para aplicação para divisórias internas.....	40
Figura 8 – Deslocamento das faces dos painéis de <i>drywall</i>	41
Figura 9 – Valores médios de umidade obtidos para os diferentes tipos de painéis avaliados para aplicação como divisória interna.....	42
Figura 10 – Valores médios de porosidade obtidos para os diferentes tipos de painéis avaliados para aplicação como divisória interna.....	44
Figura 11 – Vista lateral dos painéis evidenciando a porosidade dos materiais.....	45
Figura 12 – Valores médios de Módulo de ruptura (MOR) obtidos para os diferentes tipos de painéis avaliados para aplicação como divisória interna.....	46
Figura 13 – Valores médios de Módulo de elasticidade (MOE) obtidos para os diferentes tipos de painéis avaliados para aplicação como divisória interna.....	47
Figura 14 – Valores médios de resistência a compressão obtidos para os diferentes tipos de painéis avaliados para aplicação como divisória interna.....	49
Figura 15 – Valores médios de dureza <i>Janka</i> obtidos para os diferentes tipos de painéis avaliados para aplicação como divisória interna.....	50

Figura 16 – Aspecto do miolo dos painéis do tipo colméia.....	51
Figura 17 – Diferença de temperatura registrada em relação a fonte de calor para cada tipo de divisória avaliada.....	52
Figura 18 – Valores médios de barreira acústica obtidos para os diferentes tipos de painéis avaliados para aplicação como divisória interna.....	54
Figura 19 – Perda de massa dos painéis em função do tempo para o teste de combustibilidade.....	56
Figura 20 – Perda de massa dos painéis em função da temperatura para o teste de combustibilidade.....	56

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II - Artigo

Tabela 1 – Valores obtidos para as propriedades térmicas para os diferentes tipos de painéis para divisórias.....	52
Tabela 2 – Análise de custos dos painéis avaliados para divisórias internas.....	57
Tabela 3 – Tabela de classificação de desempenho comparativo entre os diferentes tipos de painéis avaliados para aplicação como divisórias internas.....	59

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	13
1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo geral.....	14
2.2 Objetivos específicos.....	14
3. REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1 A indústria da Construção Civil	14
3.2 Divisórias internas	16
3.2.1 Painel de <i>drywall</i>	17
3.2.2 Painel OSB – Oriented Strand Board.....	19
3.2.3 Painel cimento-madeira.....	22
3.2.4 Painel sanduíche tipo colmeia.....	24
4. CONCLUSÃO	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26
CAPÍTULO II - Artigo	31
RESUMO	31
ABSTRACT	32
1. INTRODUÇÃO	33
2. MATERIAL E MÉTODOS	35
2.1 Materiais.....	35
2.2 Ensaio físicos.....	36
2.2.1 Densidade aparente.....	36
2.2.2 Absorção de água.....	37
2.2.3 Inchamento em espessura.....	37
2.2.4 Umidade.....	38
2.2.5 Porosidade aparente.....	38
2.3 Ensaio mecânicos	38
2.3.1 Resistência à flexão estática.....	39
2.3.2 Resistência à compressão.....	39
2.3.3 Resistência à dureza <i>janka</i>	40
2.4 Desempenho Térmico	40
2.5 Barreira acústica.....	42
2.6 Ensaio de combustibilidade	43

2.7 Caracterização microestrutural	43
2.8 Análise de custos	43
2.9 Análise Estatística.....	44
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
3.1 Densidade Aparente	45
3.2 Absorção de água (AA)	47
3.3 Inchamento em espessura	50
3.4 Umidade.....	52
3.5 Porosidade Aparente	54
3.6 Resistência à Flexão.....	56
3.7 Resistência à Compressão e Dureza <i>Janka</i>	59
3.8 Conforto Térmico	62
3.9 Barreira Acústica.....	65
3.10 Ensaio de Combustibilidade	66
3.11 Análise de custo.....	68
3.12 Análise comparativa entre as divisórias internas	69
4. CONCLUSÃO.....	70
5. AGRADECIMENTOS	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é uma das atividades mais antigas que se tem conhecimento e, desde os primórdios da humanidade, foi executada de forma a gerar como subproduto grande quantidade de resíduos de diversas naturezas. Hoje, a Indústria da Construção Civil é reconhecida como uma das mais importantes atividades para o desenvolvimento econômico e social, mas por outro lado, comporta-se ainda como grande geradora de impactos ambientais e de resíduos.

As questões energéticas e ambientais são as principais preocupações na perspectiva global do desenvolvimento sustentável, sendo o setor habitacional intensivo no consumo de energia, e também grande consumidor de recursos naturais e emissor de gases de efeito estufa. Este contexto levou a comunidade científica a reavaliar o desempenho dos materiais de construção com base na energia incorporada e no impacto ambiental, pois na forma de construção tradicional há um alto gasto energético para climatização dos ambientes, principalmente em países tropicais. Dessa forma, a busca por materiais alternativos, com propriedades de isolamento térmico e acústico e também com maior resistência a incêndios, tem ganhado grande enfoque no setor da construção civil, onde a utilização de diversos painéis para divisórias internas está ganhando cada vez mais espaço, surgindo como uma possibilidade de reduzir impactos.

Novos tipos de painéis surgem para atender às necessidades de um consumo crescente para aplicações como divisórias internas, por se tratar de um método de construção seca, que não utiliza água e tem pouca geração de resíduos, otimizando a obra em diversos aspectos. Também há diversas outras vantagens em relação ao método tradicional de alvenaria, como a espessura da “parede”, que é menor nos painéis, gerando ganho de espaço interno, além de serem mais leves, o que resulta em economia na estrutura e na fundação de uma edificação e, combinado com laje nervurada, permite desenvolver edificações com ótima flexibilidade arquitetônica.

Outra propriedade importante em divisórias internas é a velocidade de combustão das mesmas, que em situações de incêndio determinará o tempo em que ela irá se desfazer com a queima. O incêndio no Clube de Resgatas do Flamengo, ocorrido em fevereiro de 2019, é um dos exemplos em que a utilização de divisórias com baixas propriedades contra incêndio faz com que o fogo se alastre em um curto tempo, impossibilitando a facilidade de evacuação de um edifício.

A utilização de novos tipos de painéis para divisórias internas, em construções civis, além de possibilitar uma maior diversificação de materiais para o setor e opções de escolha para o consumidor, também poderá atender à crescente demanda da indústria por materiais mais leves, mais sustentáveis e com melhores propriedades térmicas e acústicas. Embora o painel de *drywall* já esteja bastante consolidado no território nacional, novos tipos de painéis vêm ganhando espaço no mercado consumidor do setor da construção civil. Os painéis de Oriented Strand Board (OSB), cimento-madeira e painel sanduíche tipo colmeia já são utilizados para comercialização nacional e internacional, para diversas finalidades, como confecção de móveis, revestimentos internos e externos, forros, confecção de portas e divisórias, com alguns estudos científicos que comprovam sua adequada utilização, porém sem nenhum estudo comparativo que permita definir o melhor tipo de aplicação para cada tipo de divisória interna obtida de materiais alternativos.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Objetivou-se neste trabalho a avaliação de diferentes tipos de materiais alternativos para utilização em divisórias internas em construções civis e a sua classificação quanto à qualidade e desempenho, aprimorando o conhecimento dos produtos e ampliando as opções de mercado.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar e definir os tipos de divisórias mais adequadas para uso interno em construções.
- Definir materiais para divisórias internas com melhores propriedades físicas e mecânicas.
- Definir materiais para divisórias internas com melhores propriedades térmicas e acústicas.
- Definir o tipo de divisória interna mais indicada para ambientes que necessitem de maior resistência a incêndios.
- Definir o custo-benefício de cada tipo de material utilizado como divisórias internas.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 A indústria da Construção Civil

A Indústria da Construção Civil consome uma enorme quantidade de recursos naturais e além de consumir, também é responsável por um quarto dos resíduos sólidos (YEHEYIS et al., 2013; BENACHIO et al., 2020) gerados em todo o mundo, podendo atingir números

maiores em países em desenvolvimento como o Brasil, onde os resíduos gerados por esse setor alcançam mais de 60% (ABRELPE, 2020). A crescente escassez de recursos disponíveis no setor da construção e de mão de obra qualificada em particular (NASIRIAN et al., 2019; ŠVAJLENKA & KOZLOVSKÁ, 2020) pressiona cada vez mais a melhoria da eficiência da construção (KIM et al., 2020; ŠVAJLENKA & KOZLOVSKÁ, 2020). A quantificação da eficiência revela as possibilidades de implementação de soluções tecnológicas mais eficientes, limpas e sustentáveis (MAROUŠEK et al., 2018).

A construção civil é um importante segmento da indústria brasileira, estando associada ao crescimento econômico e social. Por outro lado, quando comparada com outros setores produtivos é o principal consumidor de recursos naturais, sendo uma atividade geradora de impactos ambientais negativos significativos (KLEIN, et. al., 2017). À medida que os materiais extraídos para o setor da construção civil se movem ao longo do seu ciclo de vida, resíduos são gerados. Quando gerenciados e dispostos incorretamente, continuam causando relevantes impactos ambientais negativos como degradação e poluição do solo, comprometimento dos corpos d'água e mananciais, obstrução dos sistemas de drenagem, intensificação de enchentes, degradação da paisagem urbana, ocupação de vias e logradouros públicos por resíduos, proliferação de moscas, baratas, ratos e outros vetores de importância sanitária nos centros urbanos (KLEIN, et. al., 2017).

Nos últimos anos, o crescimento acelerado da construção civil, em todo o mundo, está gerando grandes quantidades de resíduos, nos quais muitos não são reciclados, sendo, dessa forma, direcionados aos aterros sanitários. Com esse impacto ambiental a adoção de práticas mais inovadoras de gestão para resíduos de obra e práticas que evitem essa geração em grande quantidade, se reforçam (GUERRA et al., 2019). Dessa maneira, de acordo com CARVAJAL-ARANGO et al. (2019), profissionais e acadêmicos da área de arquitetura, engenharia e construção têm expressado um interesse crescente em sustentabilidade e sua aplicabilidade no desenvolvimento de projetos de edificações, objetivando à melhoria da eficiência nos processos construtivos. Algumas práticas estão sendo, assim, enquadradas, exibindo potencial em reduzir impactos ambientais, econômicos e sociais durante a fase construtiva, com um aumento nos parâmetros de sustentabilidade no desenvolvimento de projetos.

Atualmente, a busca pela sustentabilidade na indústria da construção civil se torna extremamente relevante para minimizar a destruição ambiental, visando reduzir o uso de recursos renováveis para atender a demanda crescente desse setor. Para solucionar essa questão, setores relacionados a construção civil estão buscando maneiras e novos tipos de

materiais para reduzir o impacto ambiental (KRUEGER et al., 2019). O reconhecimento desse impacto na sociedade levou a indústria global desse setor a tomar medidas cada vez mais severas objetivando enlaçar práticas mais sustentáveis, procurando materiais substitutos aos tradicionais tijolo e concreto e que permitam construções mais leves (UDOMSAP, et al., 2020). Razkenari et al., (2020) afirmam que, ao mesmo tempo em que o mercado da construção exige produtos mais rápidos, também exige materiais com custos mais baixos e qualidade significativamente mais alta.

3.2 Divisórias internas

A norma NBR 15575 (ABNT, 2013), que discorre sobre o desempenho de edificações habitacionais, define sistema de vedação interno e externo como partes da edificação habitacional que limitam verticalmente a edificação e seus ambientes, como as fachadas e as paredes ou as divisórias internas, que podem ser entendidos como um subsistema, constituído por elementos que compartimentam e definem os ambientes internos, controlando a ação de agentes indesejáveis. Zhao et al.(2019) afirmam que a NBR 15575 (ABNT, 2013) impulsionou positivamente a industrialização da construção ao não especificar quais produtos ou insumos devem ser utilizados, mas sim os requisitos mínimos necessários para atender aos seus critérios de desempenho, abrindo oportunidades para o desenvolvimento de novos produtos e novas tecnologias construtivas.

Estruturas de paredes finas constituem uma parcela importante e crescente de engenharia de construção com campos de atividade cada vez mais distintos, que vão desde divisórias internas até aeronaves, pontes, plataformas de petróleo, navios até embarcações de armazenamento, armazéns e edifícios industriais. Além da economia de peso e custo, novos materiais, processos e o crescimento de técnicas vigorosas de análise contribuíram para esse progresso (GUO et al., 2013). Dessa forma há a necessidade de investigar as características térmicas e ambientais dos sistemas de parede e de examinar soluções alternativas para melhorar o desempenho energético geral do ambiente construído (PICCARDO, et al., 2020).

A utilização de materiais industrializados em construções civis aumentou devido ao ritmo mais acelerado que as obras vêm tomando, o que permite cumprir prazos menores, porém requerer mão de obra específica (FERREIRA et al., 2016). Diante da necessidade de atender uma alta demanda é crescente a busca e o investimento de sistemas alternativos, visando rapidez e eficácia na construção, além de melhores propriedades, como o menor peso e a busca de melhor isolamento térmico e acústico, assim como também a maior resistência às situações de incêndio.

A alternância do sistema convencional para outros sistemas de vedações verticais vem ao encontro de razões culturais, disponibilidade de matéria prima e domínio das tecnologias empregadas no processo. Pode-se considerar que em culturas com maior domínio tecnológico tem-se maior utilização de componentes industrializados, que além de conferir leveza aos ambientes, geram aumentos de produtividades diárias nas construções das vedações verticais internas (OLIVEIRA, 2013).

Dentre os materiais utilizados atualmente se destacam os blocos e tijolos, considerados como materiais de alvenaria tradicional e de forma mais atual estão os painéis de *drywall*, os quais apesar de beneficiar a redução de peso e auxiliar na rapidez de construção ainda apresentam características deficientes quanto ao isolamento térmico e acústico. Sendo assim, ocorre a tendência de estudo de novos materiais para ser utilizado com o *drywall*, ou então no lugar deste, em determinadas aplicações. Dentre os materiais que já são produzidos em escala industrial, mas ainda faltam estudos para sua aplicação como divisórias internas, pode-se destacar os painéis Oriented Strand Board (OSB), os painéis cimento-madeira e os painéis sanduíche tipo colmeia.

3.2.1 Painel de *drywall*

Nas últimas duas décadas, aumentou a necessidade de edifícios com construções leves minimizando o consumo de matérias-primas e energia. Edifícios baseados em sistemas de *drywall* passaram a fornecer uma solução segura, rápida e duradoura para a habitação (KONTOGEOGOS et al., 2016). Segundo Fiorino et al. (2018) esse sistema de paredes divisórias de *drywall* caracterizam um investimento expressivo no setor de construção civil, que visa propiciar soluções progressistas no campo de aplicações não-estruturais consistindo em gama de atributos de desempenho ambiental e ciclo de vida econômico.

De acordo com Thanasoulas et al. (2018) os painéis de *drywall* consistem de uma camada de gesso entre duas camadas de papel prensado e a sua utilização está se tornando mais dominante na indústria de construção, pois fornecem diversas propriedades favoráveis, como facilidade e curto tempo de instalação, baixo peso, dentre outras, podendo ser utilizados como forro de teto e como paredes divisórias que atingem até, aproximadamente, 10 metros de altura, podendo ainda ser preenchidas com materiais de isolamento térmico e acústico, como lã mineral, lã de vidro, lã de rocha, etc. Todavia, segundo Tittelein et al. (2012) paredes de gesso tem algumas desvantagens, como baixa resistência a aparafusar, baixa dureza e alta sensibilidade à umidade, além disso, o gesso não é disponível a baixo custo em todo o mundo. Além do mais, em situação de incêndio haverá instabilidade de toda a estrutura envolvida,

uma que vez que, sob ação do fogo, as propriedades físicas e mecânicas dos elementos que constituem o painel de drywall são alteradas (DU et al., 2020).

No que diz respeito aos componentes de construção das paredes de drywall são compostos, geralmente, por uma estrutura feita de perfis de aço leve (com espessura de 0,6 a 1,0mm) e duas ou mais camadas de painéis à base de gesso, presas à estrutura de aço com parafusos ou pregos específicos, como mostra a Figura 1 (FIORINO et al., 2018).

Figura 1 - Paredes divisórias de drywall.



Fonte: EMPRESA FLASAN (2020).

Esse sistema para construção de paredes e forros que combina estruturas de aço galvanizado com chapas de gesso é funcional para uso de interiores e não indicada para áreas externas. Essa tecnologia foi criada nos Estados Unidos sendo realizadas algumas mudanças para se adaptar no Brasil, criando-se, assim, diversas normas técnicas que asseguram a sua qualidade de desempenho, dentre elas a NBR 14715 (ABNT, 2010), NBR 15217 (ABNT, 2018) e NBR 15758 (ABNT, 2009), que tratam dos requisitos para as chapas de *drywall* destinadas a execução de paredes, forros e revestimentos internos não estruturais; métodos de testes para *drywall* e projeto e procedimentos executivos para montagem de chapas de *drywall*, respectivamente.

As pesquisas de Matsumoto et al. (2006) e Atsonios et. al. (2019) salientam que divisórias de *drywall* estão sendo frequentemente usadas para dividir ambientes em casas, apartamentos, hotéis e cômodos comerciais, devido, principalmente, às exigências de isolamento acústico. Além disso, esse sistema também vem sendo empregado em estúdios de gravação e salas de cinema.

Os tamanhos padrões de painéis drywall, para aplicações comerciais são de 122 x 244 x 1,5cm e 122 x 360 x 1,5cm com peso de 31kg e 47kg, respectivamente (DASGUPTA et. al., 2014; MATSUMOTO et. al., 2006).

3.2.2 Painel OSB – Oriented Strand Board

Os painéis de madeira reconstituída são considerados uma alternativa para substituir o uso da madeira maciça, principalmente como elementos estruturais, embalagens e indústria moveleira (BERTOLINI et. al., 2013). Segundo Nishimura (2015), materiais de painéis à base de madeira foram desenvolvidos como um substituto à madeira maciça, tendo como aptidões a flexibilidade na definição da dimensão do painel e a minimização da variação de qualidade da madeira. Dessa forma, pode ser utilizada, para a confecção desses painéis, madeira de baixa qualidade e árvores de crescimento rápido, como pinus, seringueira ou álamo, sendo recursos eficazes que podem ser usados de forma sustentável.

De acordo com Barbirato et al (2019) a busca por produtos à base de madeira, incluindo painéis orientados, painéis de fibra de densidade média, madeira compensada, e produtos laminados, aumentou em todo o mundo nos últimos anos e, em particular, o mercado de painéis de partículas atingirá, de acordo com um relatório recente de mercado da Grand View Research, R\$274,13 milhões de reais até 2022.

Dentre os diferentes tipos de painéis, destaca-se o painel do tipo Oriented Strand Board – OSB. O painel OSB se faz presente no mercado mundial desde o início da década de 1980, sendo visto como a segunda geração dos painéis Waferboard. No Brasil, a produção de OSB teve início somente no ano de 2002 (GORSKI et al., 2015). Tais painéis são constituídos por partículas retangulares tipo “*strand*” dispostas em três camadas cruzadas, com tamanhos aproximados na faixa de 15 a 25 mm (largura), 75 a 150 mm (comprimento) e 0,3 a 0,7 mm (espessura), proporcionando melhor distribuição da resistência nas direções longitudinal e transversal, e ainda, melhorando a estabilidade dimensional do painel, sendo um material resistente, estável e versátil, podendo ser aplicado de diversas maneiras (IWAKIRI, 2015).

O painel OSB tem como vantagem e valor agregado a questão de poder ser confeccionado com madeira de menor qualidade, ao contrário do compensado que necessita de madeira de qualidade alta. Sendo assim, os painéis de OSB oferecem uma solução alternativa para suprir a demanda por produtos ambientalmente corretos para serem usados no setor de construção civil, devendo ser visto como um material ecológico que reduz o desperdício e faz o melhor uso dos recursos naturais (BARBIRATO et at., 2019).

Os painéis OSB são geralmente feitos de tiras orientadas de maneira controlada e, coladas com um adesivo sintético e, depois de colados, os painéis são consolidados sob a aplicação de calor e pressão, acarretando em uma estrutura particular que resulta em excelentes propriedades mecânicas contribuindo para tornar este tipo de painel o substituto preferido ao compensado (BORTOLETTO JÚNIOR et al., 2004; BARBIRATO et al., 2019).

Os painéis de tiras de madeira orientada (OSB) são classificados, de acordo com a Norma Européia EN 300 (2002), em: painéis de uso geral em condições secas e painéis de carga resistente para uso em condições úmidas, podendo ser aplicados como paredes (Figura 2), pisos, tetos (forro) e móveis, em que, à medida que a dimensão dos elementos se torna maior, a resistência aumenta (NISHIMURA, 2015).

Figura 2 – Paredes divisória de painel OSB.



Fonte: EMPRESA LP BRASIL (2020).

A aplicabilidade dos painéis OSB permitiu verificar ótimas propriedades quando usados como paredes internas, como elevado conforto térmico devido à sua baixa condutibilidade, elevado conforto acústico, agilidade na execução, facilidade de passagem e manutenção de instalações elétricas, hidrossanitárias, gás e ar condicionado, entre outras (MOIZÉS, 2019; ROCHA et. al., 2018). Os tamanhos comerciais são, normalmente, padronizados nas dimensões de 2,20m x 1,10m e 2,44m x 1,22m, com espessuras que variam de 6mm a 20mm.

Como relatado no estudo de Rocha et al. (2018), as placas de OSB surgiram nos Estados Unidos em 1954, onde as construções de casas e prédios apresentam uso intenso desse material devido ao seu bom desempenho e, no Brasil, apesar da produção ser recente, a demanda pelo uso desse produto tem sido crescente, promovendo uma redução de, aproximadamente, 20% do tempo em relação a construção convencional, se mostrando bastante eficaz nas propriedades de durabilidade e resistência. Todavia, de acordo com Macedo et al (2016), no Brasil, a utilização do OSB como paredes internas e externas é

embrionária, devido à carência de especificação, instrução de uso e mão de obra qualificada, no qual a maioria das pessoas ainda priorizam a construção tradicional em alvenaria.

3.2.3 Pannel cimento-madeira

Os painéis cimento madeira surgiram pela primeira vez, como material de construção, na Europa, na década de 1970 (KRUGER et al., 2009). No início do século 20, magnesita e partículas longas de madeira foram utilizados para fabricar painéis de baixa densidade e, mais tarde, a magnesita foi substituída por cimento. No final da década de 1960 painéis de cimento-madeira de “alta densidade” (cerca de 13 mm de espessura) com partículas pequenas de madeira processada foram desenvolvidas para utilizações estruturais (TITTELEIN et al., 2012).

A utilização destes painéis destina-se à construção civil, como paredes externas e internas (Figura 3) devido as suas vantajosas características físico-mecânicas e também por serem produtos parcialmente incombustíveis (FAN et al., 2012; IWAKIRI et. al., 2012). Eles têm sido utilizados em revestimentos externos e internos, forros leves, aplicações decorativas, em elementos de proteção contra o fogo, em pisos especializados e também em locais que necessitem de isolamento térmico e acústico (CAVDAR et al., 2017).

Figura 3 – Parede divisória de pannel cimento-madeira.



Fonte: CLIMATEX (2020).

Os compósitos de cimento-madeira são constituídos pela união entre partículas ou fibras de madeira, cimento, água e aditivos químicos, e sua consolidação ocorre por meio da aplicação de pressão à temperatura ambiente, sendo que o processo envolvido no endurecimento do pannel cimento-madeira decorre de reações exotérmicas resultantes da

hidratação do cimento na presença de água (KRUGER et al., 2009; IWAKIRI et al., 2012). O aditivo é utilizado para servir como auxílio na aceleração da cura do cimento e, também para fazer com que este compósito reduza a permeabilidade, por meio do processo de redução dos poros causado pela reação com o hidróxido de cálcio liberado pela hidratação do cimento, melhorando sua resistência (IWAKIRI, 2017).

A produção do painel cimento-madeira está diretamente relacionada com a composição química que a madeira apresenta e sua influência sobre o endurecimento e cura do cimento, uma vez que, extrativos, açúcares e álcalis podem retardar o tempo dessa cura (BERALDO et al., 2002; FAN et al., 2012; IWAKIRI et al., 2012; SILVA et al., 2005). Dessa forma, faz-se necessário a observância e compreensão da espécie de madeira utilizada para este fim (TITTELEIN et al., 2012). Todavia, segundo o estudo de Fan et al. (2012), essa adversidade pode ser melhorada lavando as partículas de madeira ou usando-se aditivos como cloreto de cálcio e silicato de sódio. Estudos também mostraram que a injeção de dióxido de carbono pode melhorar significativamente essa compatibilidade (FAN et al., 2012).

Além disso, a relação cimento-madeira utilizada para a produção dos painéis terá uma influência direta sobre as suas propriedades finais, como, por exemplo, módulo de elasticidade (MOE) e inchamento em espessura (IE). Além disso, outro fator de grande importância a ser observado durante a produção dos compósitos é o tamanho das partículas que estão sendo utilizadas. Este fator tem uma grande influência nos módulos de ruptura (MOR) e elasticidade (MOE) que serão obtidos e também na absorção de água (AA) e no inchamento em espessura (IE) dos painéis (KRUGER et al., 2009).

De acordo com Matoski (2005) o cimento tem a função de agir como aglomerante garantindo características físico-mecânicas de durabilidade e resistência; e a madeira tem a função de diminuir a densidade, aumentar a resistência à flexão e melhorar o isolamento térmico e acústico, resultando em inúmeras vantagens sobre outros materiais de madeira convencionais, podendo, também, reduzir o custo do material e reduzir desperdícios de madeira.

Os países asiáticos e europeus são os que mais utilizam painéis cimento-madeira. No Brasil, a produção e utilização ainda é incipiente, devido, essencialmente, à razão cultural, porém há um grande potencial para a sua introdução no mercado nacional, uma vez que, o setor de construção civil tem buscado materiais alternativos de baixo custo para viabilizar a construção de habitações em larga escala. Outro fator que viabiliza a manufatura do produto no país é a grande disponibilidade de matéria-prima de resíduos de madeira proveniente de

processamento mecânico e a autossuficiência em produção do cimento Portland (IWAKIRI et al., 2015).

Segundo Li et al. (2019) painéis de cimento-madeira apresentam uma alternativa aos materiais de construção tradicionais, apresentando uma solução econômica e ecológica. Os biomateriais, como as fibras de madeira, são mais baratos de produzir, sendo provenientes de madeira reciclada ou de florestas geridas de forma sustentável. São porosos possuindo baixa densidade aparente, características que resultam em alta capacidade de absorção de sons e capacidade de transferência higrométrica, além de ter uma condutividade térmica próxima ao do vidro (LI et al., 2019).

3.2.4 Painel sanduíche tipo colmeia

De acordo com Gagliardo et al. (2010), um compósito estrutural é composto tanto de materiais homogêneos como de materiais heterogêneos, cujas propriedades dependem não somente das propriedades dos materiais constituintes, mas também do projeto geométrico dos elementos estruturais. O sistema construtivo que se utiliza de painéis sanduíche propicia boas qualidades de resistência e de isolamento térmico-acústico, podendo ser uma opção vantajosa em comparação a outros tipos tradicionais de construção, como os que utilizam paredes de alvenaria ou sistemas pré-fabricados de concreto, por exemplo.

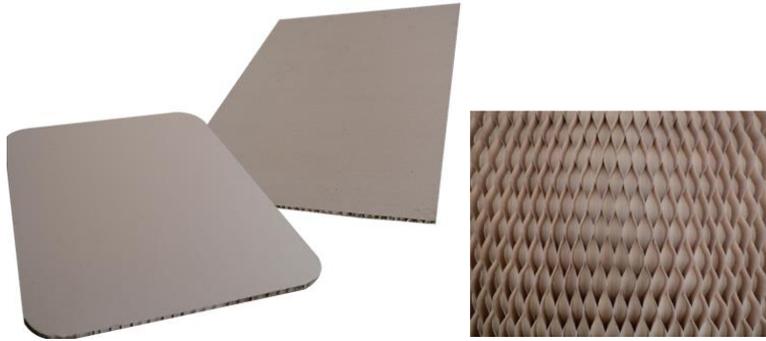
A estrutura desse tipo de painel consiste basicamente de duas placas com faces finas de um material resistente, alternadas por um núcleo formado por outro material que apresenta, geralmente, baixa densidade e resistência inferior à das placas externas (GAGLIARDO et al., 2010; FROSTIG et al., 2018).

Já existem, no mercado, estruturas sanduíche bastante desenvolvidas, utilizadas para divisórias, pisos, forros, mezaninos, passarelas, entre outras aplicações. No entanto, sua utilização ainda é recente, sendo necessária a seleção dos materiais que vão compor essas estruturas, para assim, obterem boas propriedades de isolamento térmico e acústico, alta resistência a impactos e resistência ao fogo (FROSTIG et al., 2018).

Para atender às crescentes exigências do mercado da construção civil, pesquisadores passaram a desenvolver estruturas bastante diferentes das estruturas sanduíche, enfocando novos padrões de materiais e tipos diversos (WANG et al., 2018). As estruturas sanduíche, do tipo colmeia (Figura 4), estão sendo estudadas devido à grande variedade de topologias e composição do material (DUTRA et al., 2019; ZHAO et al., 2018). Esse painel tem se mostrado uma considerável promessa para o desenvolvimento do setor de construção civil. Além disso, se bem projetados, os painéis sanduíche do tipo colmeia possuem um

desempenho de performance superior ao painel sólido de mesma massa, podendo suportar cargas mais intensas (EBRAHIMI et al., 2018; SUN et al., 2019).

Figura 4 - Esquema do painel sanduíche com estrutura colmeia.



Fonte: PAPERCELL (2020).

4. CONCLUSÃO

A utilização de painéis produzidos com diferentes tipos de materiais, para aplicação como divisórias internas, está ganhando cada vez mais destaque em relação ao método tradicional de alvenaria, uma vez que podem vir a conferir rapidez na montagem, redução de peso e custo, conferindo também melhor controle das propriedades térmicas e acústicas. Porém ainda se faz necessário identificar e classificar a qualidade e desempenho de cada tipo de painel e sua apropriada aplicabilidade. Tendo em vista essas questões, o presente trabalho possibilitou

contribuir para fornecer informações acerca desses materiais, permitindo adequada escolha e aplicação em construções, de acordo com as necessidades requeridas e com o recurso econômico disponível.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4**: Sistema de vedações verticais internas e externas. p. 1-57, Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14715**: Requisitos para as chapas de drywall destinadas a execução de paredes, forros e revestimentos internos não estruturais. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15217**: Métodos de testes para drywall. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15758**: Procedimentos executivos para montagem de chapas de drywall. Rio de Janeiro, 2009.

ATSONIOS, I.; MANDILARAS, I.; FOUNTI, M. Thermal Assessment of a Novel Drywall System Insulated with VIPs. **Energies**, Zografou, v. 12, n. 12, p. 2373, 2019.

BARBIRATO, G. et al. Quasi-static and dynamic response of oriented strand boards based on balsa wood waste. **Composite Structures**, Oxford, v. 219, p. 83–89, 2019.

BENACHIO, G. L. F.; FREITAS, M. do C. D.; TAVARES, S. F. Circular economy in the construction industry: A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, Brno, p. 121-146, 2020.

BERALDO, A. L. et al. Compósitos à base de resíduos vegetais e cimento Portland. **ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA**, v. 8, 2002.

BERTOLINI, M. S. et al. Accelerated artificial aging of particleboards from residues of CCB treated Pinus sp. and castor oil resin. **Materials Research**, São Carlos, v. 16, n. 2, p. 293-303, 2013.

BORTOLETTO JÚNIOR, G.; GARCIA, J. N. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.4, p. 563-570, 2004.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica**, São Paulo, v. 61, n. 358, p. 178-189, 2015.

CARVAJAL-ARANGO, D. et al. Relationships between lean and sustainable construction: Positive impacts of lean practices over sustainability during construction phase. **Journal of Cleaner Production**, Brno, v. 234, p.1322-1337, 2019.

CAVDAR, A. D. Cement type composite panels manufactured using paper mill sludge as filler. **Construction and Building Materials**, Edinburgh, v. 142, p. 410-416, 2017.

CIANCIARULLO, M. I. Green construction – reduction in environmental impact through alternative pipeline water crossing installation. **Journal of Cleaner Production**, Brno, v. 223, p. 1042-1049, 2019.

DASGUPTA, S. P.; FULMER, S.; JING, X.; PUNNETT, L.; KUHN, S., BUCHHOL, B. Assessing the ergonomic exposures for drywall workers. International. **Journal of Industrial Ergonomics**, [S.I], v.44, p. 307–315, 2014.

DU, Z. et al. Foamed gypsum composite with heat-resistant admixture under high temperature: Mechanical, thermal and deformation performances. **Cement and Concrete Composites**, England, v. 108, p. 103-549, 2020.

DUTRA, J. R.; MONI, R. F. S. L.; CHRISTOFORO, A. L.; PANZERA, T. H.; SCARPA, F. Investigations on sustainable honeycomb sandwich panels containing eucalyptus sawdust, Piassava and cement particles. **Thin-Walled Structures**, [S.I], v. 143, p. 106-191, 2019.

EBRAHIMI, H.; KEYVANI, S. L.; NORATO, J.; VAZIRI, A. Blast-resilience of honeycomb sandwich panels. **International Journal of Mechanical Sciences**, [S.I], 144, p. 1–9, 2018.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 300 - Oriented Strand Boards (OSB) – Definitions, classification and specifications**. Bruxelas, 2002.

FAN, M., NDIKONTAR, M. K.; ZHOU, X.; NGAMVENG, J. N. Cement-bonded composites made from tropical woods: Compatibility of wood and cement. **Construction and Building Materials**, Edinburgh, v. 36, p. 135–140, 2012.

FIORINO, L.; PALI, T.; LANDOLFO, R. Out-of-plane seismic design by testing of non-structural lightweight steel drywall partition walls. **Thin-Walled Structures**, [S.I], v. 130, p. 213–230, 2018.

FROSTIG, Y.; BIRMAN, Victor; KARDOMATEAS, G. A. Non-linear wrinkling of a sandwich panel with functionally graded core–extended high-order approach. **International Journal of Solids and Structures**, [S.I], v. 148, p. 122-139, 2018.

GAGLIARDO, D. P.; MASCIA, N. T. Análise de estruturas sanduíche: parâmetros de projeto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 247-258, 2010.

GARCEZ, M. R. et al. Propriedades mecânicas de compósitos cimento-madeira com serragem tratada de *Pinus elliottii*. **Ciência da Madeira** (Brazilian Journal of Wood Science), Pelotas, v.7, n.1, p. 16-27, 2016.

GORSKI, L. et al. Utilização da madeira de *Eucalyptus benthamii* na produção de painéis de partículas orientadas (OSB). **Floresta**, Rio de Janeiro, v. 45, n. 4, p. 865-874, 2015.

GUERRA, B. C.; BAKCHAN, A.; LEITE, F.; FAUST, K. M. BIM-based automated construction waste estimation algorithms: The case of concrete and drywall waste streams. **Waste Management**, Oxford, v. 87, p. 825-832, 2019.

GUO, W.; LI, M.; ZHOU, J. Modeling programmable deformation of self-folding all-polymer structures with temperature-sensitive hydrogels. **Smart Materials and Structures**, [S.I], v. 22, n. 11, p. 115-128, 2013.

IRLE, M. A.; BARBU, M. C.; REH, R.; BERGLAND, L.; ROWELL, R. M. Wood Composites. In: ROWELL, R. M. Handbook of Wood chemistry and Wood composites. **Boca Raton**: CRC Press, Cap. 1, 2012.

IWAKIRI, S. et al. Potencial de uso de espécies de pinus tropicais para produção de painéis cimento-madeira. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 45, n. 113, p. 151-159, 2017.

IWAKIRI, S. et al. Produção de painéis aglomerados de alta densificação com uso de resina melamina-uréia-formaldeído. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 4, p. 323-328, 2005.

IWAKIRI, S. et al. Use of eucalyptus wood for oriented strand board (OSB) manufacturing. **Cerne**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 46-52, 2015.

IWAKIRI, S. et. al. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* “Paricá” e *Cecropia hololeuca* “Embaúba” para produção de painéis cimento-madeira. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 2, p. 303-308, 2012.

KIM, S.; CHANG, S.; CASTRO-LACOUTURE, D. Dynamic modeling for analyzing impacts of skilled labor shortage on construction project management. **Journal of Management in Engineering**, [S.I.], v. 36, n. 1, 2020.

KLEIN, F. B.; GONÇALVES-DIAS, S. L. F. A deposição irregular de resíduos da construção civil no município de São Paulo: um estudo a partir dos instrumentos de políticas públicas ambientais. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Paraná, v. 40, 2017.

KONTOGEORGOS, D. A.; SEMITTELOS, G. K.; MANDILARAS, I. D.; FOUNTI, M. A. Experimental investigation of the fire resistance of multi-layer drywall systems incorporating Vacuum Insulation Panels and Phase Change. **Fire Safety Journal**, [S.I.], 81, p. 8-16, 2016.

KRUEGER, K.; STOKER, A.; GAUSTAD, G. “Alternative” materials in the green building and construction sector. **Smart and Sustainable Built Environment**, [S.I.], 2019.

KRUGER, E. L. Thermal analysis of wood-cement panels: Heat flux and indoor temperature measurements in test cells. **Construction and Building Materials**, Edinburgh, v. 23, p. 2299-2305, 2009.

LECCESE, F.; SALVADORI, G.; ASDRUBALI, F.; GORI, P. Passive thermal behaviour of buildings: Performance of external multi-layered walls and influence of internal walls. **Applied Energy**, [S.I.], v. 225, p. 1078-1089, 2018.

LI, M.; KHENNANED, M.; GANAOUIB, E. Structural response of cement-bonded wood composite panels as permanent formwork. **Composite Structure**, Oxford, v. 209, p. 13-22, 2019.

MACEDO, L. B. et al. Painéis OSB de madeira *Pinus sp.* e adição de partículas de polipropileno biorientado (BOPP). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 44, n. 112, 2016.

MAROUŠEK, Josef et al. Postponing of the intracellular disintegration step improves efficiency of phytomass processing. **Journal of cleaner production**, Amsterdam, v. 199, p. 173-176, 2018.

MATOSKI, A. Utilização de pó de madeira com granulometria controlada na produção de painéis de cimento-madeira. 187 f. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2013.

MATSUMOTO, T. et al. Development of multiple drywall with high sound insulation performance. **Applied acoustics**, [S.I.], v. 67, n. 6, p. 595-608, 2006.

MELLO, de B.; BRASIL, L. C.; AMORIM, L.; ROBERTO, S. O subsector de edificações da construção civil no Brasil: uma análise comparativa em relação à União Europeia e aos Estados Unidos. **Production**, [S.I.], v. 19, n. 2, p. 338-399, 2009.

MOIZÉS, F. A. Desenvolvimento de painéis com partículas orientadas (osb) de bambu. 116 f. Tese (Doutorado) –Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2019.

NASIRIAN, A. et al. Optimal work assignment to multiskilled resources in prefabricated construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, [S.I], v. 145, n. 4, p.11-17, 2019.

NISHIMURA, T. Chipboard, oriented strand board (OSB) and structural composite lumber. **Wood Composites**, [S.I], v. 6, p. 103–121, 2015.

NOH, M. S. M.; AHMAD, Z.; IBRAIM, A.; WALKER, P. Development of New Prefabricated Wall Constructed Using Wood-wool Cement Composite Panel. **Procedia Environmental Sciences**, [S.I], v. 34, p. 298–308, 2016.

PICCARDO, C. et al. Retrofitting with different building materials: Life-cycle primary energy implications. **Energy**, [S.I], v. 192, p. 116-648, 2020.

RAZKENARI, M. et al. Perceptions of offsite construction in the United States: An investigation of current practices. **Journal of Building Engineering**, Lisbon, v. 29, p. 101-138, 2020.

ROCHA, A. G. S.; MATUTI, B. B. Dry construction technology, the use of OSB board in the replacement of conventional masonry. **ITEGAM-JETIA**, [S.I], v. 04, n. 16, p 138-143, 2018.

SABBATINI, F. H. Alvenaria estrutural: materiais, execução da estrutura e controle tecnológico. Brasília, DF: CEF, 2003.

SILVA, G. C.; LATORRACA, J. V.; TEIXEIRA, D. E.; BORTOLETTO JUNIOR, G. Produção do compósito madeira e casca de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake e cimento Portland. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 68, p. 59-67, 2005.

SHABAN, M.; MAZAHERI, H. Closed-form elasticity solution for smart curved sandwich panels with soft core. **Applied Mathematical Modelling**, [S.I], v. 76, p. 50-70, 2019.

SUN, M. et al. An analytical study of the plasticity of sandwich honeycomb panels subjected to low-velocity impact. **Composites Part B: Engineering**, [S.I], v. 168, p. 121-128, 2019.

ŠVAJLENKA, J.; KOZLOVSKÁ, M. Evaluation of the efficiency and sustainability of timber-based construction. **Journal of Cleaner Production**, Brno, p. 120835, 2020.

TAE, S.; SHIN, S., KIM, H.; HÁ, S.; LEE, J.; HAN, S.; RHEE, J. Life cycle environmental loads and economic efficiencies of apartment buildings built with plaster board drywall. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S.I], v. 15, p. 4145-4155, 2011.

THANASOULAS, I. D.; VARDAKOILIAS, I. K.; KOLAITIS, K. I.; GANTES, C. J.; FOUNTI, M. A. Coupled thermo-mechanical simulation for the performance-based fire design of CFS drywall systems. **Journal of Constructional Steel Research**, [S.I], v. 145, p. 196–209, 2018.

TITTELEIN, P.; CLOUTIER, A.; BISSONNETTE, B. Design of a low-density wood–cement particleboard for interior wall finish. **Cement and concrete composites**, Barking, v. 34, n. 2, p. 218-222, 2012.

TSOUMIS, G. Science and technology of wood: structure, properties, utilization. **New York: Chapman & Hall**, [S.I], p. 309-339, 1991.

UDOMSAP, A. D.; HALLINGER, P. A Bibliometric Review of Research on Sustainable Construction, 1994-2018. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 254, 2020.

WANG, Z.; LI, Z.; XIONG, W. Experimental investigation on bending behavior of honeycomb sandwich panel with ceramic tile face-sheet. **Composites Part B: Engineering**, [S.I], v. 164, p. 280-286, 2019.

WEI, Y. M.; BUNICHIRO, T. Effects of five additive materials on mechanical and dimensional properties of wood cement-bonded boards. **Journal of Wood Science**, Tokyo, v. 47, n. 6, p. 437-444, 2001.

YEHEYIS, M. et al. An overview of construction and demolition waste management in Canada: a lifecycle analysis approach to sustainability. **Clean Technologies and Environmental Policy**, [S.I], v. 15, n. 1, p. 81-91, 2013.

ZHAO, D. et al. Framework for Benchmarking green building movement: A case of Brazil. **Sustainable Cities and Society**, [S.I], v. 48, p. 101545, 2019.

ZHAO, Y. et al. Internal-structure-model based simulation research of aramid honeycomb sandwich panel subjected to intense impulse loading. **Engineering Fracture Mechanics**, [S.I], v. 204, p. 1-14, 2018.

CAPÍTULO II - Artigo

MATERIAIS ALTERNATIVOS PARA DIVISÕES INTERNAS EM CONSTRUÇÕES

RESUMO: Os painéis utilizados para divisórias internas, no setor da construção civil, são estruturas sólidas com formatos regulares, empregados para dividir e/ou separar ambientes, seja residenciais, comerciais, hospitalares, industriais e afins. A utilização de novos tipos de painéis para divisórias internas além de possibilitar uma maior diversificação de materiais para o setor e opções de escolha para o consumidor, também poderá atender à crescente demanda da indústria por materiais mais leves, mais sustentáveis e com melhores propriedades térmicas e acústicas. Contudo, em função do surgimento de diferentes tipos de materiais para divisórias se faz necessário avaliações comparativas para o entendimento da melhor forma de aplicação para cada tipo de divisória. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar e classificar os painéis comerciais de drywall, OSB (Oriented Strand Board), cimento-madeira e painel sanduíche colmeia, quanto às suas qualidades e desempenhos como divisórias internas. A classificação dos painéis foi estabelecida verificando as propriedades físicas de densidade aparente, absorção de água, inchamento em espessura, umidade e porosidade aparente; propriedades mecânicas de resistência à flexão, à compressão e à dureza *janka*; propriedades microestruturais, propriedades térmicas, de combustibilidade e acústicas, além de uma análise de custo. Dentre os materiais alternativos avaliados, os painéis OSB foram os materiais que obtiveram o melhor desempenho para aplicações como divisórias internas, obtendo melhor desempenho quanto as propriedades físicas, mecânicas e térmicas, além de desempenho acústico semelhante a dos painéis drywall. Porém, apresentaram menor desempenho quanto a resistência a incêndios e ainda o maior custo dentre os diferentes tipos

de divisórias internas avaliadas. Os painéis drywall demonstraram o melhor desempenho em incêndios e os piores valores para o isolamento térmico. Os tipos de painéis cimento-madeira e colmeia demonstraram que ainda são necessários ajustes nos seus processos produtivos para possibilitar adequada aplicação como divisórias internas.

Palavras-chave: Construção civil. Materiais sustentáveis. Isolamento térmico e acústico. Resistência à incêndios.

ALTERNATIVE MATERIALS FOR INTERNAL DIVISIONS IN CONSTRUCTIONS

ABSTRACT: The panels used for internal partitions, in the civil construction sector, are solid structures with regular shapes, used to divide and / or separate environments, whether residential, commercial, hospital, industrial and the like. The use of new types of panels for internal partitions, besides allowing a greater diversification of materials for the sector and options of choice for the consumer, can also meet the growing demand of the industry for lighter, more sustainable materials with better thermal and thermal properties. acoustic. However, due to the appearance of different types of material for partitions, comparative evaluations are necessary to understand the best form of application for each type of partition. Therefore, the objective of this work was to evaluate and classify commercial drywall panels, OSB (Oriented Strand Board), cement-wood and honeycomb sandwich panel, regarding their qualities and performance as internal partitions. The classification of the panels was established by checking the physical properties of apparent density, water absorption, swelling in thickness, moisture and apparent porosity; mechanical properties of resistance to flexion, compression and janka hardness; microstructural properties, thermal, combustibility and acoustic properties, in addition to a cost analysis. Among the evaluated alternative materials, the OSB panels were the materials that obtained the best performance for applications as internal partitions, obtaining better performance in terms of physical, mechanical and thermal properties, in addition to acoustic performance similar to that of drywall panels. However, they presented lower performance in terms of fire resistance and still the highest cost among the different types of internal partitions evaluated. Drywall panels demonstrated the best performance in fires and the worst values for thermal insulation. The types of cement-wood and honeycomb panels demonstrated that adjustments in their production processes are still necessary to enable proper application as internal partitions.

Keywords: Civil construction. Alternative materials. Thermal and acoustic insulation. Fire resistance.

1. INTRODUÇÃO

A Indústria da Construção Civil consome uma grande quantidade de recursos naturais, sendo ainda responsável por um quarto dos resíduos sólidos gerados em todo o mundo (YEHEYIS et al., 2013; BENACHIO et al., 2020), podendo atingir números maiores em países em desenvolvimento como o Brasil, onde os resíduos gerados pela Indústria da Construção alcançam mais de 60% de todo resíduo sólido gerado (ABRELPE, 2020).

Diante da grande geração de resíduos, o que promove graves problemas ambientais e de saúde pública (PANESAR et al., 2016), aumentou também a conscientização sobre os aspectos ambientais no setor de construção civil (REDDY et al., 2003; ŠVAJLENKA & KOZLOVSKÁ, 2020), trazendo a demanda pelo desenvolvimento de novas tecnologias mais sustentáveis (LEŠNIAK & ZIMA, 2018), visando soluções tecnológicas mais eficientes, limpas e com novas propriedades para a melhoria do bem estar do consumidor (MAROUŠEK et al., 2018).

Os métodos modernos de construção envolvem a produção de estruturas ou suas peças nas fábricas, trazendo benefícios como uma edificação mais rápida, um número reduzido de defeitos, menor consumo de energia e menor produção de resíduos, o que reduz a produção de resíduos nos canteiros de obras e elimina os riscos à segurança (LOVELL & SMITH, 2010; BRAGANÇA et al., 2010; ŠVAJLENKA & KOZLOVSKÁ, 2020). Dentre esses produtos estão os painéis para divisórias internas, os quais vêm ganhando destaque em função da facilidade de montagem, menor espessura e, portanto, ganho de espaços internos, e a melhoria de flexibilidade arquitetônica, associado ainda na possibilidade de melhoria do isolamento térmico e acústico e de melhores características em incêndios em função do tipo de material da divisória utilizada.

Dentre as divisórias internas mais utilizadas atualmente estão os painéis do tipo *drywall*, os quais apresentam diversas propriedades favoráveis, como facilidade e curto tempo de instalação, boa relação custo-benefício e bom isolamento acústico (TITTELEIN et al., 2012). Contudo, apesar de estar em um mercado já definido, ainda apresentam algumas dificuldades, principalmente quanto ao isolamento térmico, resistência a umidade e ao fato do gesso ser oriundo de fontes não renováveis (KYRIAKIDIS et al. 2018; WIJESURIYA et al., 2018).

Sendo assim, visando a contínua melhoria das propriedades dos painéis para aplicação como divisórias, e objetivando deixar cada vez mais a indústria da construção civil um setor sustentável, estudos com diferentes tipos de produtos se mostram de suma importância. Alguns estudos com diferentes tipos de painéis, tais como os painéis do tipo Oriented Strand Board (OSB), colmeia e cimento-madeira, já foram desenvolvidos, demonstrando o potencial de aplicação desses materiais para diferentes tipos de usos, tais como confecção de móveis, revestimentos internos e externos, forros, confecção de portas e divisórias (MENDES et. al., 2013; CHEN; YUANJUN, 2014; MENDES et. al., 2015; DIAS et al., 2016; VILELA, et. al., 2018; LI et. al., 2019). No entanto, tais painéis foram ainda poucos avaliados para aplicação como divisórias internas, sendo iniciais os estudos comparativos que permitam definir o melhor tipo de aplicação para cada tipo de divisória interna.

Neste contexto, objetivou-se neste trabalho a avaliação de diferentes tipos de materiais alternativos para utilização em divisórias internas em construções civis e a sua classificação quanto à qualidade e desempenho, aprimorando o conhecimento dos produtos e ampliando as opções de mercado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

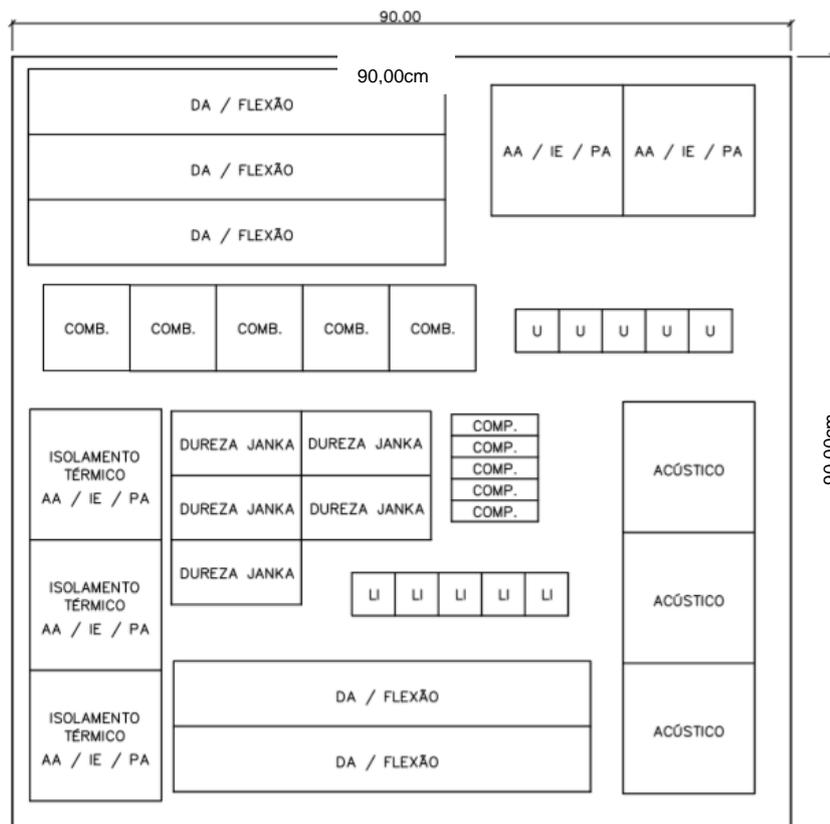
A presente pesquisa foi realizada nos Laboratórios de Estruturas e de Compósitos do Departamento de Engenharia, da Universidade Federal de Lavras (UFLA). As amostras foram cortadas em seus devidos tamanhos e armazenadas nas mesmas condições climáticas, sendo, posteriormente, submetidas aos ensaios físicos e mecânicos, além de testes de conforto termo-acústico, de combustibilidade, caracterização microestrutural e análise de custo.

2.1 Materiais

O painel de *drywall* utilizado neste estudo foi do tipo *Standard* e foi adquirido em uma empresa localizada na cidade de Oliveira/MG, com dimensões de 1,80m x 1,20m x 15mm, com faces constituídas por lâminas de papel cartão com espessura de 1mm e miolo de gesso. O painel OSB foi adquirido em uma empresa localizada na cidade de Pouso Alegre/MG, com dimensões de 1,20m x 2,40m x 18mm, constituído por partículas de madeira *Pinus*, do tipo “strand”, unidas em prensa quente com resina fenol-formaldeído. O painel de cimento-madeira foi adquirido em uma empresa localizada na cidade de Blumenau/SC, com dimensões de 0,90m x 0,90m x 17mm, constituído por cimento Portland CPV-ARI e partículas finas e longas de madeira de *Pinus* sp. O painel sanduíche tipo colméia foi adquirido em uma empresa localizada na cidade de Diadema/SP, com dimensões de 1,20m x 2,40m x 16mm, constituído por material totalmente reciclado, sendo o miolo constituído por alvéolos de papelão, com abertura de 0,04 m x 0,03 m e as faces constituídas por papel kraft de alta gramatura recobertas por uma camada plástica unidos por cola de acetato de polivinila (PVA). O motivo da diferenciação entre as espessuras dos painéis se deve as especificidades de produções e padrões de comercialização de cada tipo de painel.

Esses painéis foram encaminhados ao Laboratório de Estruturas do Departamento de Engenharia, pertencente à Universidade Federal de Lavras (UFLA), onde foram retirados corpos de prova, conforme Figura 1. O esquema de retirada de corpos de prova se baseou nas dimensões do menor painel comercial obtido, que no caso foi o painel cimento-madeira.

Figura 1 - Esquema de retirada dos corpos-de-prova dos painéis. DA (densidade aparente), Flexão, Comp. (compressão), Dureza janka, Desempenho térmico, AA (absorção de água), IE (inchamento em espessura), PA (porosidade aparente), U (umidade), Comb. (Combustibilidade) e Barreira Acústica.



Fonte: Do autor (2020)

2.2 Ensaios físicos

Para a caracterização física dos painéis foram realizados os ensaios de densidade aparente, absorção de água (AA), inchamento em espessura (IE), teor de umidade e porosidade aparente.

2.2.1 Densidade aparente

A densidade aparente dos painéis foi determinada conforme a metodologia proposta pela norma American Society for Testing and Materials - ASTM D1037 (2016), no qual foram utilizadas cinco amostras para cada tipo de painel, com dimensões de 48,2cm x 7,6cm x espessura do painel, determinando a massa do corpo de prova seco e o seu volume aparente, de acordo com a Equação 1:

$$Da = \frac{M}{V} \quad (1)$$

Sendo:

Da = densidade aparente.

M = massa, em gramas.

V = volume, em cm³.

2.2.2 Absorção de água

A absorção de água dos painéis foi determinada conforme a metodologia proposta pela norma ASTM D1037 (2016), utilizando cinco amostras para cada tipo de painel, com dimensões de 15,2cm x 15,2cm x espessura do painel, em 2 horas e 24 horas de imersão em água. Decorrido esses períodos as amostras foram retiradas, enxugadas superficialmente e pesadas, obtendo-se, assim, a massa de cada corpo de prova. A diferença percentual entre a massa imersa (2h e 24h) e a massa seca corresponde ao valor de sua capacidade total de absorção de água, de acordo com a Equação 2:

$$AA = \frac{Mu - Ms}{Ms} \cdot 100 \quad (2)$$

Sendo:

AA = absorção de água, em porcentagem.

Mu = massa úmida, em gramas.

Ms = massa seca, em gramas.

2.2.3 Inchamento em espessura

O inchamento em espessura dos painéis foi determinado conforme a metodologia proposta pela norma ASTM D1037 (2016), no qual foram utilizadas cinco amostras para cada tipo de painel, com dimensões de 15,2cm x 15,2cm x espessura do painel, em 2 horas e 24 horas de imersão em água. Decorrido esse prazo as amostras foram retiradas, enxugadas superficialmente e medidas em quatro pontos, nas extremidades, mediante o uso de um paquímetro. A diferença percentual entre a espessura após imersão em água (2h e 24h) e a espessura inicial da amostra corresponde ao valor de sua capacidade total de inchamento, de acordo com a Equação 3.

$$IE = \frac{Ef - Ei}{Ei} \cdot 100 \quad (3)$$

Sendo:

IE = inchamento em espessura, em porcentagem.

Ef = espessura final, em cm.

Ei = espessura inicial, em cm.

2.2.4 Umidade

A umidade dos painéis foi determinada conforme a metodologia proposta pela norma ASTM D1037 (2016), no qual foram utilizadas cinco amostras para cada tipo de painel, com dimensões de 5cm x 5cm x espessura do painel, de acordo com a Equação 4.

$$U = \frac{Mu - Ms}{Ms} \cdot 100 \quad (4)$$

Sendo:

H = umidade da amostra, em porcentagem.

Mu = massa úmida, em gramas.

Ms = massa seca, em gramas.

2.2.5 Porosidade aparente

A porosidade aparente dos painéis foi determinada conforme a metodologia proposta pela norma ASTM D1037 (2016), no qual foram utilizadas cinco amostras para cada tipo de painel, com dimensões de 15,2cm x 15,2cm x espessura do painel, de acordo com a Equação 5.

$$Pa = \frac{Mu - Ms}{Mu - Mi} \cdot 100 \quad (5)$$

Sendo:

Pa = porosidade aparente, em porcentagem.

Mu = massa úmida, em gramas.

Ms = massa seca, em gramas.

Mi = massa imersa, em gramas.

2.3 Ensaios mecânicos

Para a caracterização mecânica dos painéis foram realizados os ensaios de resistência à flexão estática, resistência à compressão e resistência à dureza janka. Os ensaios foram realizados em uma Máquina Universal de Ensaios pertencente ao Laboratório de Ensaios Mecânicos do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), com

o intuito de submetê-los a circunstâncias que representem os esforços que eles sofrerão nas situações reais de uso.

2.3.1 Resistência à flexão estática

Os ensaios mecânicos de flexão estática (Módulo de Elasticidade - MOE e Módulo de Ruptura - MOR) foram realizados de acordo com a metodologia proposta pela norma ASTM D1037 (2016), no qual foram utilizados cinco amostras para cada tipo de painel, com dimensões de 48,2cm x 7,6cm x espessura do painel, sendo executados em uma máquina de ensaios universal, dotada de uma célula de carga de 6kN, com configuração de três cutelos, velocidade de ensaio de 5 mm/min e vão de 38cm, de acordo com as Equações 6 e 7.

$$\text{MOE} = \frac{(\text{vão}^3) \cdot (F2 - F1)}{(4 \cdot l \cdot e^3) \cdot (D2 - D1)} \quad (6)$$

Sendo:

MOE = módulo de elasticidade, em Mpa.

vão³ = vão do equipamento = 38cm.

F2 = Valor de carga obtido a 50% da carga máxima.

F1 = Valor de carga obtido a 10% da carga máxima.

l = largura da amostra, em cm.

e = espessura da amostra, em cm.

D2 = deformação obtida a 50% da carga máxima..

D1 = deformação obtida a 10% da cargamáximal.

$$\text{MOR} = \frac{(3 \cdot P \cdot \text{vão})}{(2 \cdot l \cdot e^2)} \quad (7)$$

Sendo:

MOR = módulo de ruptura, em Mpa.

P = carga atingida no momento da ruptura.

vão = vão do equipamento = 38cm.

l = largura da amostra, em cm.

e = espessura da amostra, em cm.

2.3.2 Resistência à compressão

Os ensaios mecânicos de compressão foram realizados de acordo com a metodologia proposta pela norma ASTM D1037 (2016), no qual foram utilizados cinco amostras para cada

tipo de painel, com dimensões de 10cm x 2,5cm x espessura do painel, sendo executados em máquina de ensaios universal, equipada com célula de carga de 6kN, com velocidade de ensaio de 5 mm/min, com a adaptação de duas placas lisas - uma fixa e outra móvel. O ensaio consistiu em aplicar uma carga até o rompimento do corpo-de-prova. Os valores da curva de deformação foram obtidos para a determinação da resistência à compressão, que foi determinada através da Equação 8:

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad (8)$$

Sendo:

σ_c = Resistência à Compressão, em Mpa.

P = Carga atingida no momento da ruptura, em kN

A = Área da seção transversal do corpo-de-prova, em cm².

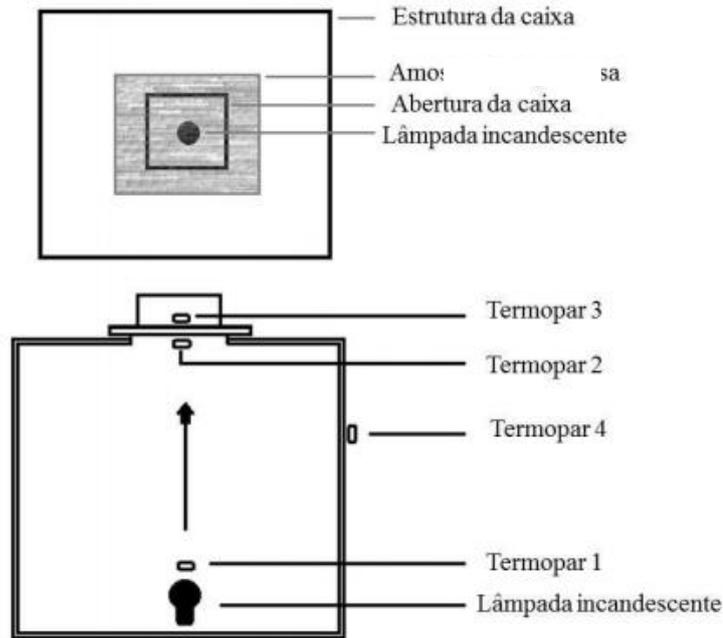
2.3.3 Resistência à dureza *janka*

Os ensaios mecânicos de dureza foram realizados de acordo com a metodologia proposta pela norma ASTM D1037 (2016), no qual foram utilizados cinco amostras para cada tipo de painel, com dimensões de 15cm x 7,5cm x espessura do painel, sendo executados em máquina de ensaios universal, equipada com célula de carga de 6kN, por meio da penetração de meia esfera de 11,28mm de diâmetro.

2.4 Desempenho Térmico

O ensaio para a determinação da propriedade de condutividade térmica foi realizado por meio de um equipamento adaptado do método da coluna fracionada, descrito por Bertolini (2014), no qual foram utilizadas duas amostras para cada tipo de painel, com dimensões de 15,2 x 15,2cm x espessura do painel. A câmara utilizada no ensaio é composta por painéis de madeira reconstituída e, para vedação, foram utilizadas placas de isopor de 15mm de espessura, além de manta aluminizada, composta por cinco camadas (alumínio/polietileno/reforço/polietileno/alumínio), com reflexão aproximada de 90% e fita adesiva aluminizada (CARVALHO, 2012). Para o aquecimento do equipamento utilizou-se uma lâmpada incandescente de 60w com temperatura controlável (Figura 2).

Figura 2 – Desenho esquemático do equipamento de desempenho térmico.



Fonte: VILELA et al (2018).

O cálculo da condutividade térmica ocorre quando o sistema atinge um estado estacionário de condução de calor, onde as temperaturas são registradas por termopares por meio de um equipamento Data Collector, modelo IM DC 100-01E.

Os corpos-de-prova foram ensaiados separadamente, sendo o material exposto à temperatura ambiente, com taxa de aquecimento de $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ até atingir a temperatura de 50°C na fonte de calor. O ciclo de ensaio para cada tratamento foi de 3,5 horas. O ensaio fornece os valores da temperatura na base do padrão (lâmpada incandescente) e temperaturas na base e no topo do corpo-de-prova ($^{\circ}\text{C}$), obtidos pelos termopares. Por meio desse ensaio foi possível determinar o isolamento, a condutividade, a resistência e a transmitância térmica de cada tipo de painel. Em que o isolamento térmico é obtido pela diferença do termopar 2 pelo termopar 3 (Figura 2) e as demais propriedades foram obtidas através das Equações 10, 11 e 12.

$$\lambda = \frac{(270.e)}{\Delta T} \quad (10)$$

$$RT = \frac{e}{\lambda} \quad (11)$$

$$TT = \frac{1}{RT} \quad (12)$$

Sendo:

λ = condutividade térmica (W/ (m. $^{\circ}\text{C}$)).

270 = valor da radiação da lâmpada (w/m^2), obtido pelo medidor *Solar power meter MÊS-100*.

e = espessura do painel, em m.

ΔT = variação da Temperatura do painel, em $^{\circ}\text{C}$.

R_T = resistência térmica ($\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C/W}$).

TT = transmitância térmica ($\text{W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$).

2.5 Barreira acústica

O ensaio para a determinação da propriedade de barreira acústica foi realizado de acordo com a proposta de um método alternativo, fundamentado nas diferentes normas já existentes, como a NBR 15575 (ABNT 2013), ISO 717 (ABNT, 2013) e ISO 10847 (1997), que tratam do desempenho em edificações habitacionais, classificação do isolamento acústico nos edifícios e barreiras externas ao ruído, respectivamente.

Foram feitos testes comparativos, por meio de três amostras de cada painel, com dimensões de 15cm x 15cm x espessura do painel. Esse método consistiu em analisar a atenuação do ruído pela placa, por meio de duas caixas de madeira, sobrepostas, de fibra de média densidade (MDF) revestidas, internamente, com placas de isopor de 15mm sobrepostas e por manta de espuma acústica de 30 mm, na qual os painéis foram colocados, em uma divisória de MDF, um por vez, com um furo central, com diâmetro de 1,5 centímetros, para a passagem do ruído, além de ponto de emissão de som – calibrador acústico com valor de 94 decibéis – colocado na caixa superior a 5 cm de distância do painel e outro ponto de captação de som – decibelímetro (medidor de nível de pressão sonora) – colocado na caixa inferior e encaixado no furo localizado na divisória, estando, o mesmo, a 1,0 cm do corpo-de-prova. Dessa maneira o som passou em uma única direção, com tempo de passagem de 200 segundos. Ao final de cada ensaio o decibelímetro foi adaptado ao computador para transcrição dos valores e cálculos. Os primeiros 60 segundos foram excluídos do cálculo, a fim de eliminar ruídos iniciais até a montagem das caixas e início do teste. Por meio desse ensaio foi possível determinar a barreira acústica que cada painel promove, mediante a utilização da Equação 13.

$$BA = 94 - x \quad (13)$$

Sendo:

BA = barreira acústica, em dB.

94 = valor do calibrador acústico, em dB.

x = valor resultante em cada ensaio, em dB.

2.6 Ensaio de combustibilidade

O ensaio para a determinação da propriedade de combustibilidade foi realizado de acordo com a proposta de um método alternativo para comparação do desempenho ao calor em simulação de fogo e incêndio, embasado em diferentes normas já existentes, nacionais e internacionais, como a NBR 9442 (ABNT 1988), NBR 10636 (ABNT 1992), NBR 14432 (ABNT 2001), National Fire Protection Association 251 (NFPA 2016), que tratam da Propagação superficial de chama em materiais de construção, Resistência ao fogo de paredes divisórias sem função estrutural, Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações e Resistência ao fogo na construção civil e materiais, respectivamente.

Para a realização do teste de combustibilidade foi desenvolvido um dispositivo, alternativo aos previstos nas normas, com adaptação de um forno mufla, com temperatura máxima de 1200°C, uma balança semi-analítica com resolução de 0,01g, posicionada sobre a mufla e um termopar tipo K de inserção frontal com controlador de temperatura. Foram utilizadas cinco amostras para cada tipo de painel, com dimensões de 10cm x 10cm x espessura de cada painel as quais foram ensaiadas separadamente em forno mufla. Devido aos materiais testados serem distintos, a temperatura máxima de cada uma foi considerada até o desfazimento da mesma, finalizando-se após a degradação. A taxa de aquecimento foi de 10°C.min-1. O controle de tempo, temperatura e perda de massa foi realizada a cada 1 minuto.

2.7 Caracterização microestrutural

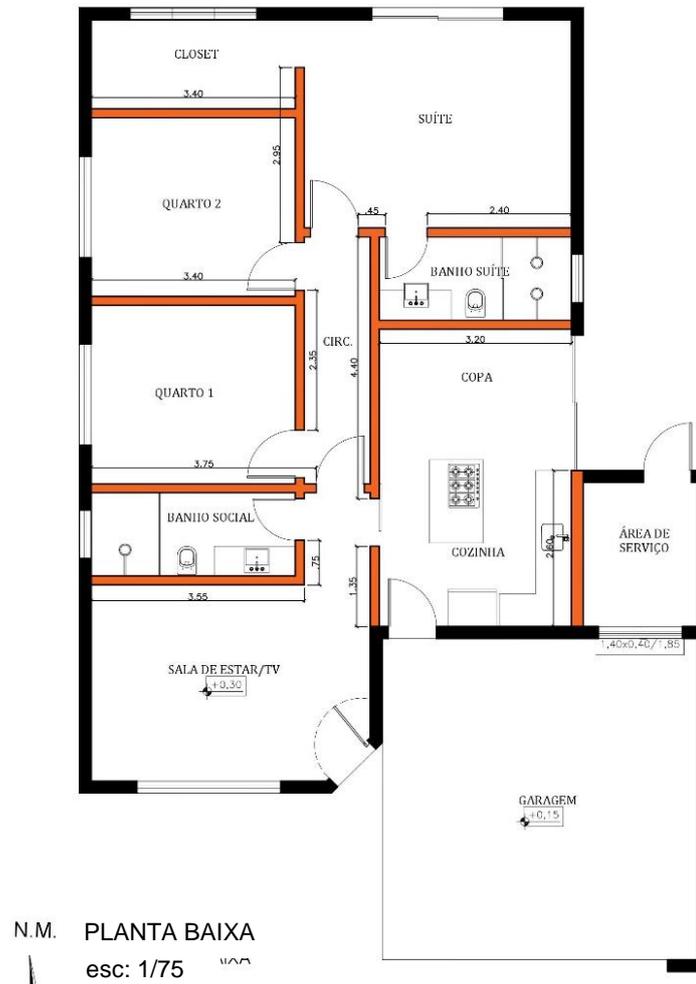
Para a caracterização microestrutural dos painéis foi realizada uma avaliação por meio de microscopia óptica, através de uma lupa digital da marca CoolingTech, modelo U500X, na qual foram utilizadas três amostras para cada tipo de painel, com dimensões de 5cm x 5cm x espessura do painel. Essa caracterização foi realizada na superfície dos painéis com o intuito de observar a distribuição das partículas, a interface das camadas e a porosidade dos materiais.

2.8 Análise de custos

Para a análise de custos foram utilizados os valores de mercado de cada tipo de painel. Os dados foram obtidos no momento da aquisição dos mesmos. Foi realizada a simulação da construção de uma residência térrea de 100,00m², com pé direito de 2,80m. As divisórias internas totalizaram 103,46m² (Figura 3) e, por meio desse dado foi possível fazer uma

avaliação do custo da construção das paredes internas com cada tipo de painel na construção de uma casa popular básica.

Figura 3 – Planta esquemática residencial.



Fonte: Do autor (2020)

2.9 Análise Estatística

As propriedades avaliadas foram submetidas a um delineamento inteiramente casualizado (DIC). A análise foi realizada no programa de análise estatística Sisvar®. Os resultados foram avaliados por análise de variância e teste de média scott-knott, ambos a 5% de significância de erro.

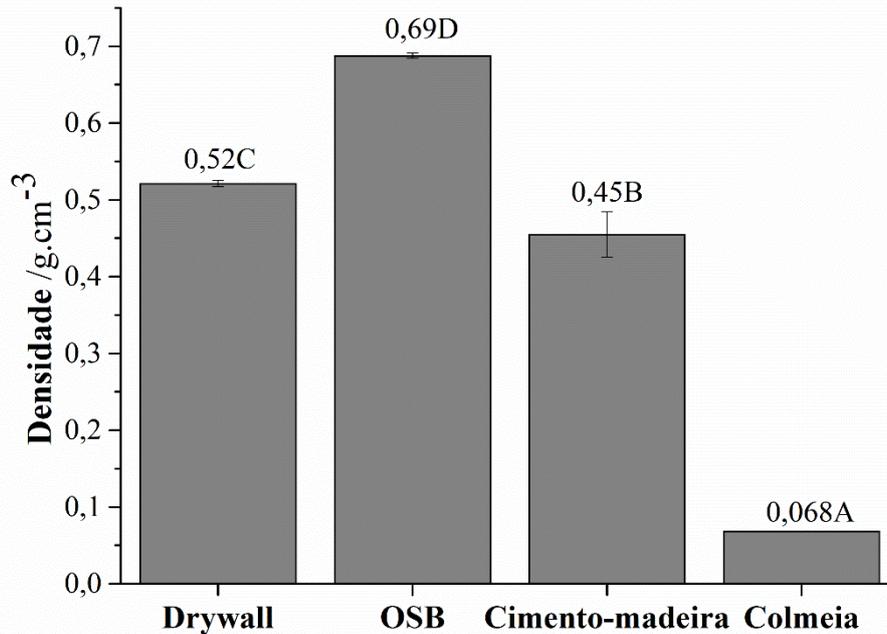
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Densidade Aparente

Na Figura 4 estão apresentados os valores médios da densidade aparente dos painéis de drywall, OSB, cimento-madeira e colmeia. Observou-se que todos os painéis se diferenciaram estatisticamente entre si, sendo o menor valor obtido para os painéis do tipo colmeia e o maior valor obtido para os painéis OSB. Verificou-se ainda uma densidade muito inferior dos painéis colmeia em relação aos demais tipos de painéis, o que deve a característica do próprio

material, o qual é produzido com núcleos abertos no seu interior e faces aderidas para proporcionar a resistência mecânica para o produto.

Figura 4 – Valores médios de densidade aparente dos diferentes tipos de painéis avaliados para aplicação como divisórias internas.



Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste Scott-Knott.

Fonte: Do autor (2020)

A norma ASTM D1037 (2016) define como painéis de baixa densidade aqueles que apresentam densidade inferior a 0,59 g/cm³ e os painéis de média densidade os que apresentam faixa de densidade entre 0,60 g/cm³ a 0,80 g/cm³. Sendo assim, os painéis OSB são classificados como painéis de média densidade, enquanto os demais produtos foram classificados como painéis de baixa densidade. O motivo da maior densidade dos painéis OSB está relacionado ao método de produção de cada tipo de material, pois para os painéis OSB existe uma taxa de compressão entre 1,3 e 1,6, promovendo a densificação do material (MENDES et. al., 2013; MENDES et. al., 2015), enquanto nos demais tipos de produtos a compactação não se mostra tão acentuada como é no caso do drywall e colmeia que apresenta apenas a colagem das faces dos painéis com o miolo que os compõem, ou no caso do cimento madeira, que apesar de ter certa densificação na prensagem do painel, apresentam grande

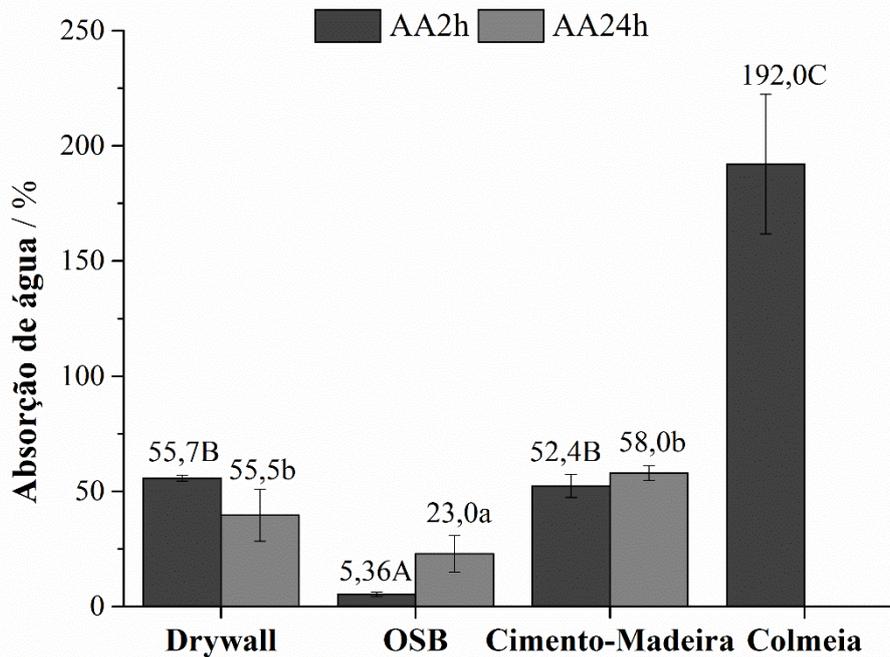
quantidade de espaços vazios em função da geometria das partículas utilizadas no processo produtivo (VILELA et al., 2018).

A densidade do painel interfere de forma significativa nas propriedades físicas, mecânicas, acústicas e térmicas dos materiais de construção (PEDROSO et al., 2017; RIBEIRO et al., 2019; VENKRBEK et al., 2020). De acordo com Kelly (1977) e Maloney (1993) os painéis com densidade superior possuem normalmente estabilidade dimensional inferior por apresentarem maior inchamento em espessura, porém, sua resistência mecânica é mais elevada. De acordo com Iwakiri et al (2005) painéis mais densos apresentam valores de módulo de ruptura e módulo de elasticidade mais elevados e painéis menos densos apresentam maior porosidade; contudo dependendo dos materiais podem apresentar melhor isolamento térmico e acústico.

3.2 Absorção de água (AA)

Os valores médios obtidos para absorção de água dos diferentes tipos de painéis após duas horas (AA2h) e vinte e quatro horas (AA24h) podem ser visualizados na Figura 5. Não houve diferenciação estatística para as propriedades de AA2h e AA24h apenas quando comparados os painéis do tipo drywall e cimento-madeira. Os painéis OSB e colmeia se diferenciam estatisticamente entre si e entre os demais tipos de painéis. Observa-se que os painéis OSB apresentaram os menores valores de absorção de água, o que está associado a maior densidade (Figura 4) e a sua maior compactação em relação aos demais produtos (MENDES et. al., 2013; SURDI et. al., 2014; SURDI et. al., 2015). Maloney (1993) relata que os valores inferiores de absorção de água dos painéis mais densos são devido à estrutura mais fechada do próprio painel, que é consequência das partículas estarem mais densificadas pelo processo de prensagem. Tal fato também é afetado pelos produtos químicos utilizados na sua produção, como o uso da parafina, que repele a absorção de água dos painéis, principalmente nas suas primeiras horas de contato com a água (MELO et al., 2013; LUO et al., 2017).

Figura 5 – Valores médios de absorção de água dos diferentes tipos de painéis avaliados para aplicação como divisória interna.



Médias seguidas pela mesma letra maiúscula para AA2h e minúsculas para AA24h não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott. * Em função das características higroscópicas dos painéis colmeia não foi possível determinar o valor de AA24h.

Fonte: Do autor (2020)

Apesar dos painéis cimento-madeira também apresentarem certa compactação como os painéis OSB e ainda contar com o recobrimento das partículas de madeira com o cimento, estes apresentaram valores de absorção de água intermediários. Tal fato é justificado em função da associação do cimento com as partículas de madeira, o que além de afetar o processo de hidratação do cimento (LI et. al., 2019), também afeta a porosidade do compósito, proporcionando menor densidade (Figura 4) e consequentemente maiores valores de absorção de água.

Observa-se ainda que apesar do drywall apresentar densidade superior a do cimento-madeira e não ter partículas para proporcionar porosidade, o efeito da absorção de água foi o mesmo, o que certamente foi afetado pelas faces de papelão, que são materiais que promovem grande absorção de água, devido sua natureza hidrofílica (FIORINO et al., 2018). A mesma justificativa pode ser afirmada para o caso dos painéis colmeia, devido sua composição a base de papelão em toda sua estrutura, promovendo ainda mais sítios de sorção para a água. Inclusive, como consequência desta alta absorção, não foi possível fazer a análise de AA24h

dos painéis colmeia, pois houve o rompimento total da colagem do miolo com as faces, conforme pode ser observado na Figura 6.

Figura 6 – Perda da estrutura dos painéis colmeia após imersão em água após período de 24h



Fonte: Do autor (2020)

Não existem normativas para a propriedade absorção de água para os painéis OSB, Cimento-madeira e colmeia. Para o drywall, a norma NBR 14715 (ABNT, 2010) determina o valor máximo de 5% para painéis resistentes a umidade, demonstrando que o painel avaliado nesse estudo não pode ser considerado resistente a umidade. Contudo, a norma NBR 15575-4 (ABNT, 2013), que define os requisitos para edificações habitacionais e seus sistemas de vedações verticais internas e externas, não especificam valores máximos de absorção de água para os materiais aplicados em divisões internas.

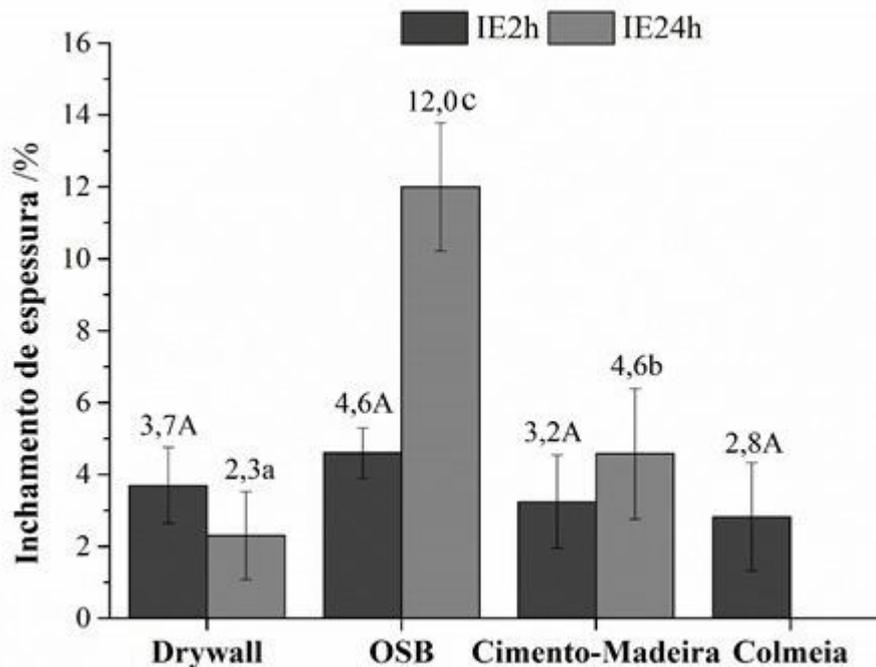
Carvalho et. al. (2014) ao avaliarem diferentes tipos de adesivos para produção de painéis obtiveram valores de AA2h entre 77 a 103% e de AA24h entre 89 a 131%. Enquanto Mendes et al. (2013) ao avaliar o tratamento térmico em partículas strand para produção de painéis OSB obtiveram valores de AA2h entre 21,7 a 38,0% e de AA24h entre 34,0 a 42,0%. Vilela et al. (2018) ao avaliar a utilização de borracha de pneu para produção e painéis cimento-madeira obtiveram valores de AA2h entre 25,8 a 28,3% e de AA24h entre 28,6 a 32,0%. De forma geral os painéis OSB avaliados nesse estudo apresentaram valores de absorção de água inferiores aos encontrados em literatura. Porém, os painéis cimento-madeira apresentaram valores superiores de absorção de água dos observados em literatura.

3.3 Inchamento em espessura

Na Figura 7 é possível observar os valores médios de inchamento em espessura após duas horas (IE2h) e após vinte e quatro horas (IE24h) de imersão em água dos painéis. Não houve diferença estatística entre os diferentes tipos de painéis para divisórias internas quando analisado a propriedade IE2h. Para o IE24h observou-se a impossibilidade de análise do painel colmeia, pelos mesmos motivos informados para a propriedade de AA24h. No entanto, quando comparado os painéis cimento-madeira, OSB e Drywall, observou-se diferença estatística entre todos eles, com o menor valor sendo obtido para o Drywall, e o maior valor sendo obtido para os painéis OSB.

O elevado valor médio obtido para o IE24h dos painéis OSB se deve às liberações de tensões de prensagem, os quais por estarem mais compactado, apresentam menor quantidade de poros evitando a absorção de água, contudo tem maior tensão mantida pela colagem do material e com o tempo essa tensão se libera quando o material entra em contato com a água por um maior período de tempo, aumentando, assim, a espessura dos painéis OSB (MENDES et al., 2015; NASCIMENTO et al., 2015). Apesar disso, tais painéis atendem as especificações da norma EN300 (2006) que determina o valor máximo de 15% de IE24h para painéis que serão utilizados em condições úmidas e de 20% de IE24h para painéis que serão utilizados em condição seca. Podendo, portanto, esses painéis OSB vir a ser utilizados em divisórias de ambientes secos, tais como quartos e salas, mas também em ambientes mais úmidos, como cozinhas e banheiros.

Figura 7 – Valores médios de inchamento em espessura dos diferentes tipos de painéis avaliados para aplicação para divisórias internas.



Médias seguidas pela mesma letra maiúscula para IE2h e minúsculas para IE24h não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott. * Em função das características higroscópicas dos painéis colmeia não foi possível determinar o valor de IE24h

Fonte: Do autor (2020)

Quanto ao painel colmeia, apesar de ter atingido uma alta absorção de água, não teve um inchamento em espessura proporcional, devido à conformação espaçada de seus alvéolos, no qual, dessa forma, a água tinha certo armazenamento nos espaços vazios, mas sem proporcionar variação na espessura do material.

O painel de drywall apresentou um valor menor de IE24h em relação ao seu IE2h devido à perda de material e também perda de aderência das faces de papelão com o miolo de gesso (Figura 8), resultando conseqüentemente em perda de massa do mesmo após imersão nesse tempo. Tal fato se deve a baixa resistência a água desse tipo de material, conforme já discutido em demais trabalhos (PÁSZTORY et al., 2018; WANG et al, 2018).

Figura 8 – Descolamento das faces dos painéis de drywall.



Fonte: Do autor (2020)

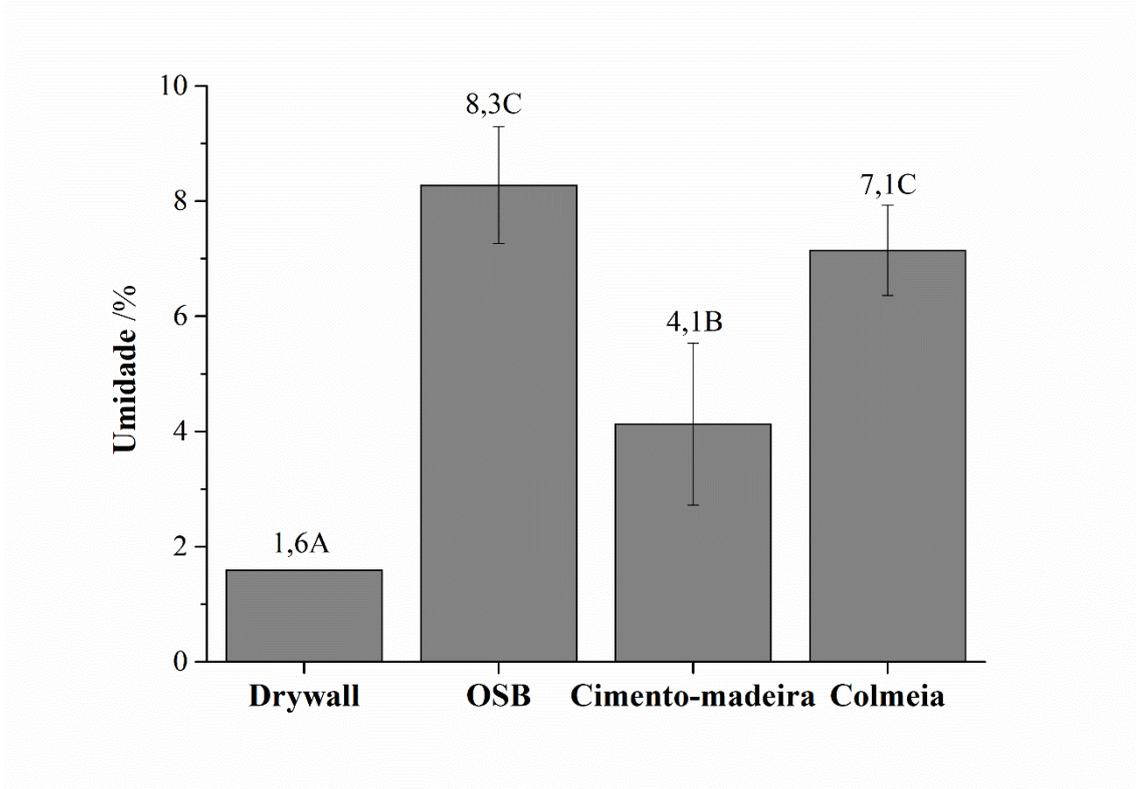
Não existem normativas para o inchamento em espessura dos painéis colmeia e drywall. Para os painéis cimento-madeira a norma Viroc (2016) determina valores de inchamento em espessura máximo após vinte e quatro horas de imersão de 1,5%; enquanto o processo Bison (2017) determina valores máximos de 1% para o IE2h e 1,5% para o IE24h. Portanto, esse painel, apesar de ser comercial, não atende às exigências mínimas de comercialização. No entanto, a norma NBR 15575-4 (ABNT, 2013) que apresenta os requisitos para edificações habitacionais e seus sistemas de vedações verticais internas e externas não especifica valores de inchamento em espessura dos materiais. Sendo assim, os quatro tipos de painéis podem ser utilizados para divisórias internas em ambientes secos, tais como quartos e salas, porém em ambientes úmidos, como cozinhas e banheiros, não é indicado o uso do colmeia, drywall e cimento-madeira, no último caso por não atender a norma de comercialização do produto.

3.4 Umidade

Na Figura 9 é possível observar os valores médios de umidade dos diferentes tipos de painéis avaliados para aplicação como divisórias. Não foi observada diferença estatística apenas entre os painéis OSB e colmeia, sendo estes os materiais que obtiveram os maiores

valores de umidade. O menor valor foi obtido para os painéis do tipo drywall, enquanto os painéis cimento-madeira obtiveram valores intermediários.

Figura 9 – Valores médios de umidade obtidos para os diferentes tipos de painéis avaliados para aplicação como divisória interna



Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott.

Fonte: Do autor (2020)

A umidade dos painéis está associada à constituição química das matérias-primas que o constituem e também ao tipo de aditivos utilizados para a sua produção, o que pode afetar a qualidade final dos mesmos, principalmente nos que são constituídos por madeira ou derivados (LOUËRAT et al., 2018). A absorção/adsorção de umidade dos materiais lignocelulósicos se dão pelos sítios higroscópicos do tipo OH disponíveis principalmente na região amorfa da celulose e nas hemiceluloses (UFODIKE et al., 2020), portanto quanto maior a quantidade de material lignocelulósico maior será o número de sítios higroscópicos e consequentemente maior será a tendência de aumento da umidade.

Observa-se que os painéis com maior quantidade de material lignocelulósico foram os que obtiveram os maiores valores de umidade (OSB e Colmeia), seguido pelos painéis cimento-madeira que apresentam o recobrimento da madeira com o cimento, diminuindo o

potencial de absorção de umidade do material lignocelulósico, e por último o drywall, que apresenta apenas suas faces acartonadas, sendo sua maior parte constituída de material cerâmico.

As normas EN300 (2006), NBR 14715 (ABNT, 2010) e NBR 15575-4 (ABNT, 2013), que especificam os requisitos para os painéis OSB, drywall e para sistemas de vedações verticais, respectivamente, não determinam valores para umidade dos painéis. Os painéis colmeia não apresentam normativa quanto seus requisitos. Porém, para os painéis cimento-madeira a norma Viroc (2016) determina valores de umidade entre 9 a 12%, enquanto o processo Bison (2017) determina valores entre e a 12%. O valor de umidade obtido para o painel cimento-madeira nesse estudo se mostrou inferior aos especificados por norma.

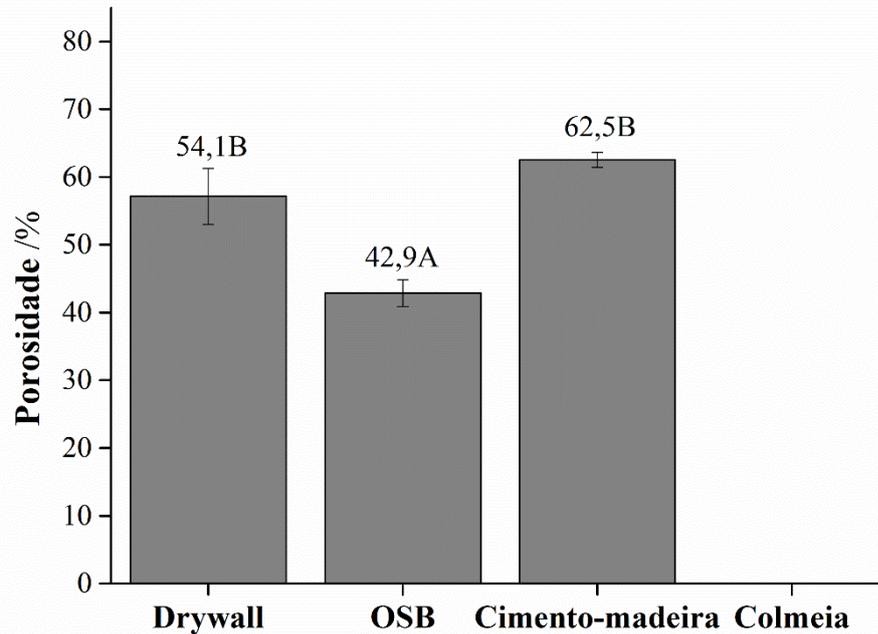
A empresa fabricante de painéis OSB no Brasil, LP Building Products, afirma que a umidade média desse tipo de painel está na faixa de 5 a 11 % (LP BRASIL, 2020). Mendes et al. (2013) ao avaliar o efeito de tratamento térmico em painéis OSB obtiveram valores de umidade variando entre 6,0 a 8,8%. Estando os valores obtidos nesse estudo dentro da faixa de umidade dos painéis OSB encontrados em literatura.

Woods e Winkler (2018) ao avaliarem diferentes modelos de transferência de umidade em sistemas construtivos observaram valores de umidade para o drywall variando entre 1 a 5%. Sendo assim, os valores obtidos nesse estudo estão dentro da faixa observada por esses autores.

3.5 Porosidade Aparente

Na Figura 10 é possível observar os valores médios de porosidade aparente dos diferentes tipos de painéis avaliados para utilização como divisórias internas. Assim como relatado para as propriedades de absorção de água e inchamento em espessura, não foi possível a avaliação da porosidade dos painéis colmeia, o que se deu virtude dos painéis se desfazerem após algumas horas de imersão em água. Os painéis OSB se diferenciaram estatisticamente dos demais tipos de painéis, obtendo o menor valor médio de porosidade. Não houve diferença estatística entre os painéis de drywall e cimento-madeira.

Figura 10 – Valores médios de porosidade obtidos para os diferentes tipos de painéis avaliados para aplicação como divisória interna



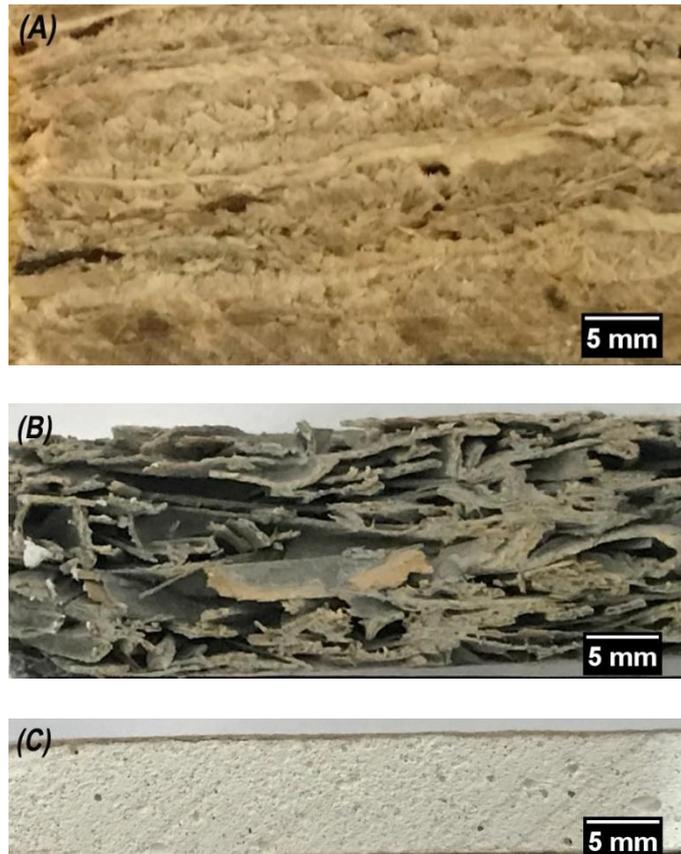
Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste Scott-Knott.

Fonte: Do autor (2020)

O motivo da menor porosidade observada para os painéis OSB se deve a maior taxa de compactação desse produto (MALONEY, 1993), promovendo a redução dos espaços internos, conforme pode ser observado na Figura 11, e estando associada a maior densidade (Figura 4) e menor absorção de água do material (Figura 5).

Apesar de se notar uma grande variabilidade na estrutura física dos painéis do tipo cimento-madeira e drywall (Figura 11), os dois painéis obtiveram valores iguais estatisticamente de porosidade, o que pode ser explicado pelo fato dos painéis drywall apresentarem grande número de microporos em sua estrutura, enquanto os painéis cimento-madeira demonstram mais macroporos, e como ocorre o revestimento do cimento nas partículas de madeira, a porosidade das partículas não é mensurada. Outra questão é o período de análise, pois em contato com água após certo período de tempo os painéis drywall começam a perder massa (Figura 8), gerando maior quantidade de poros.

Figura 11 – Vista lateral dos painéis evidenciando a porosidade dos materiais. A) OSB, B) Cimento-madeira e C) Drywall

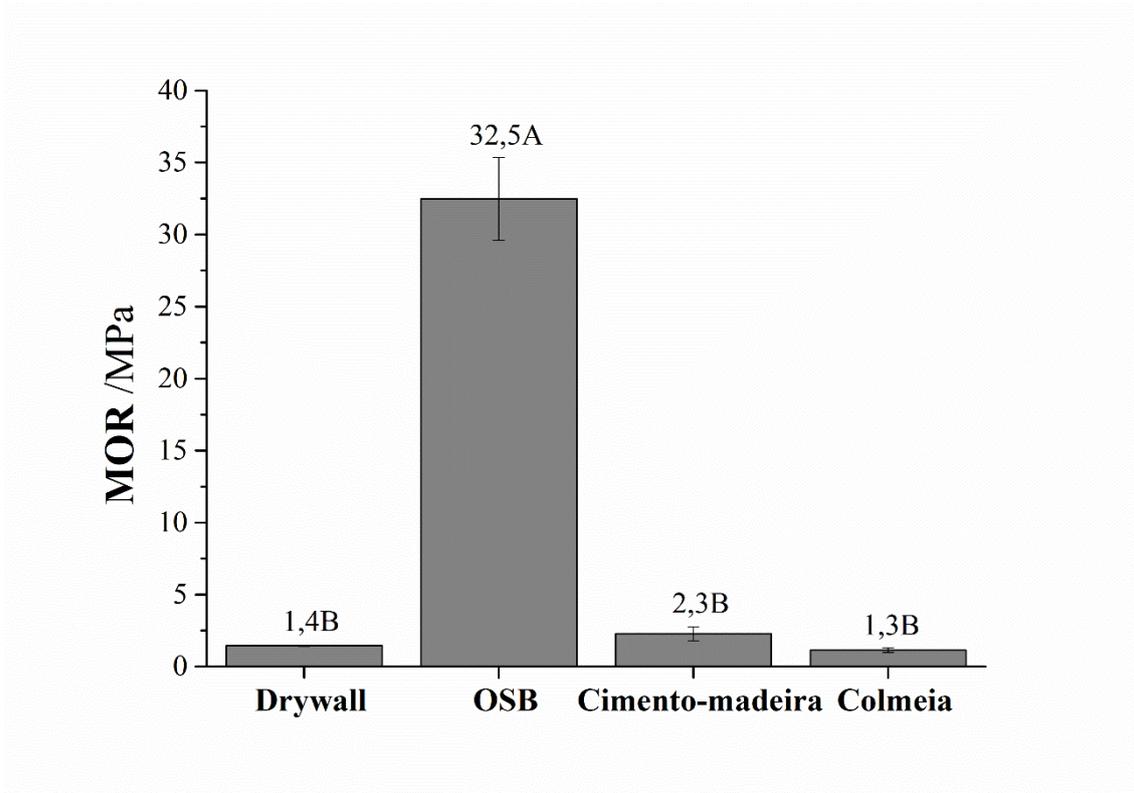


Fonte: Do autor (2020)

3.6 Resistência à Flexão

Os valores médios obtidos para o Módulo de ruptura (MOR) e Módulo de elasticidade (MOE) à flexão dos painéis, avaliados para divisórias internas, podem ser observados nas Figuras 12 e 13. Os painéis OSB obtiveram os maiores valores médios de MOR e MOE, diferenciando-se estatisticamente dos demais tipos de painéis. Não foi observada diferença estatística entre os painéis drywall, cimento-madeira e colmeia quando avaliada a propriedade de MOR. No entanto, para a propriedade MOE foi observada diferença estatística entre os três tipos de painéis, sendo observados os maiores valores de MOE para o drywall e os menores para colmeia.

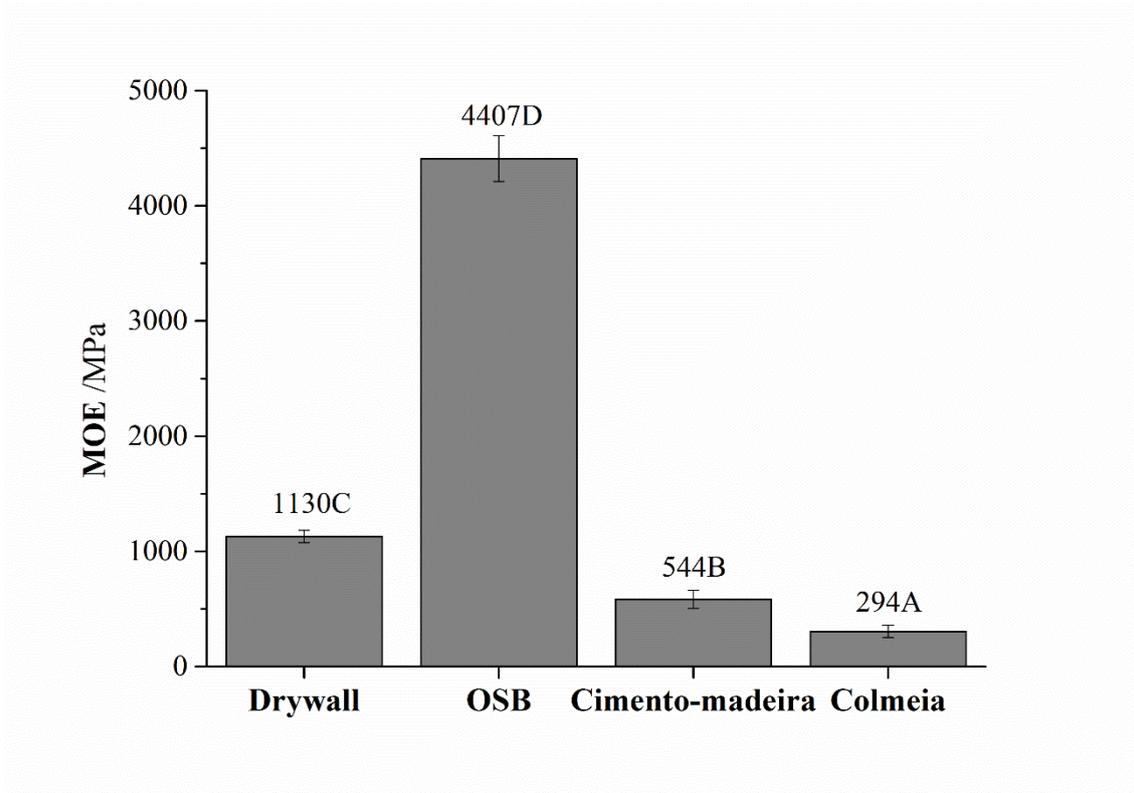
Figura 12 – Valores médios de Módulo de ruptura (MOR) obtidos para os diferentes tipos de painéis avaliados para aplicação como divisória interna



Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste Scott-Knott.

Fonte: Do autor (2020)

Figura 13 – Valores médios de Módulo de elasticidade (MOE) obtidos para os diferentes tipos de painéis avaliados para aplicação como divisória interna



Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste Scott-Knott.

Fonte: Do autor (2020)

Os maiores valores de MOR e MOE obtidos pelos painéis OSB estão relacionados a maior densidade dos painéis (Figura 4) e menor porosidade (Figura 10), os quais foram proporcionadas pela maior compactação no processo produtivo. Para o MOE também pode ser verificado, para todos os tipos de painéis, uma relação direta com a densidade, sendo observado que a mesma diferenciação estatística observada para densidade (Figura 4) também foi verificada para o MOE (Figura 13).

Surdi et al. (2015) e Oliveira et al. (2017) também verificaram em seus estudos que quanto maior a densidade dos painéis maior os valores de resistência a flexão estática dos mesmos, os quais justificam em função da compactação do material e a quantidade de material para sofrer a ruptura pelo processo de tração na superfície inferior.

A norma NBR 14715 (ABNT, 2010) determina o valor mínimo para o MOR para painéis drywall de 2 MPa. A norma EN300 (2006) determina os valores mínimos de 10 MPa para MOR e de 3500 MPa para o MOE para painéis OSB que serão utilizados em condições secas ou úmidas. Para os painéis cimento-madeira a norma Viroc (2016) determina os valores mínimos de 9 MPa para MOR e 4500 MPa para MOE, enquanto o processo bison

(2017) determina os valores mínimos de 9 MPa para MOR e 3000 MPa para MOE. Não existe uma normativa para os painéis colmeia. Diante disso, observa-se que apenas os painéis OSB atendem as especificações da sua respectiva normativa de comercialização, podendo ser utilizados em ambientes secos e úmidos.

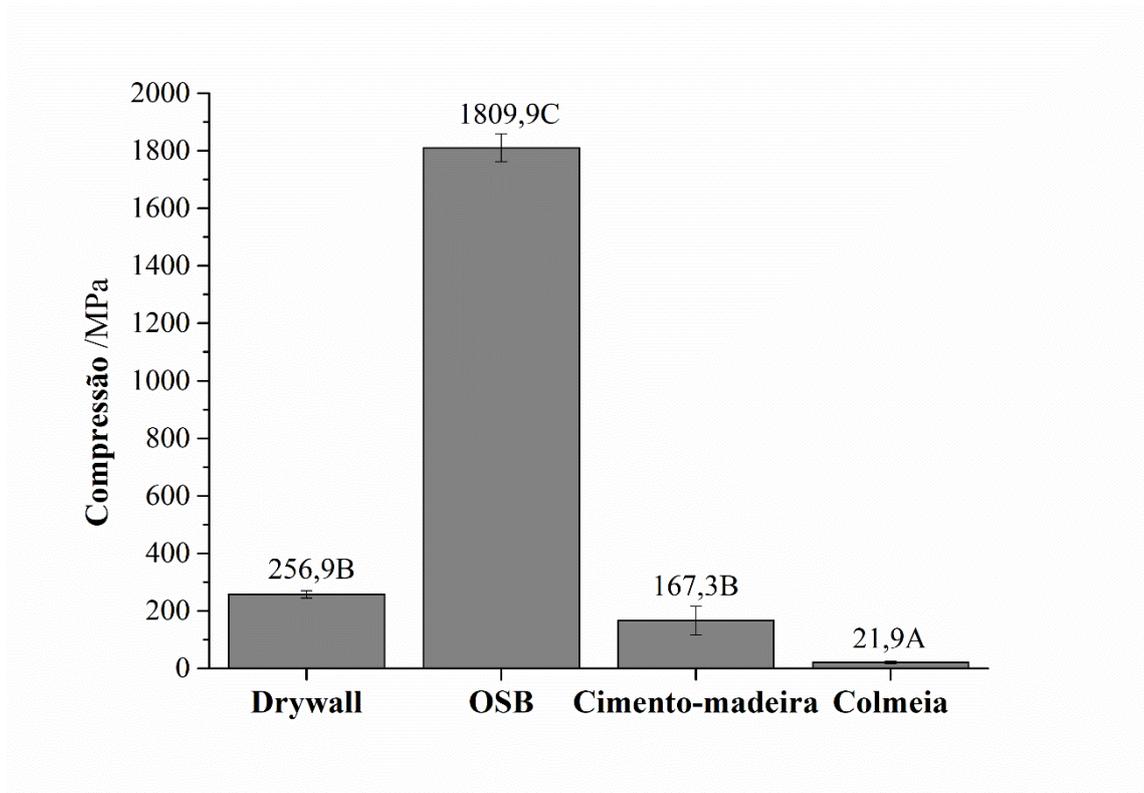
Contudo, a norma NBR 15575-4 (ABNT, 2013), que especifica os requisitos para sistemas de vedações verticais, não determina valores mínimos de MOR e MOE, podendo os demais painéis serem utilizados como divisórias, desde que atendam os requisitos das demais propriedades determinadas por essa normativa.

3.7 Resistência à Compressão e Dureza *Janka*

Nas Figuras 14 e 15 estão os valores médios obtidos para a resistência à compressão e dureza *Janka*, respectivamente, dos diferentes tipos de painéis avaliados para divisórias internas. Para ambas as propriedades observa-se que os painéis OSB obtiveram os maiores valores médios, diferenciando-se estatisticamente dos demais tipos de painéis. Tal fato se justifica em função da maior densidade (Figura 4), menor porosidade (Figura 10 e 11) resultado da melhor compactação das partículas (SURDI et al. 2015; OLIVEIRA et al. 2017), conforme anteriormente discutido para o MOR e MOE.

Não foi observada diferença estatística para os painéis drywall e cimento-madeira quando avaliada a propriedade de compressão. Porém, quando analisados os painéis do tipo colmeia, estes obtiveram os menores valores médios de resistência a compressão, apresentando diferença estatística em relação aos demais painéis. Os menores valores de resistência a compressão dos painéis colmeia está associado com a menor densidade (Figura 4), assim como também, em função da sua estrutura física, onde existe uma colmeia central com espaços vazios e que as faces são coladas em sua superfície, não havendo um travamento no sentido paralelo as faces da colmeia, sentido esse que foi realizado o ensaio de compressão, o que promoveu a obtenção de valores muito inferiores aos demais tipos de painéis.

Figura 14 – Valores médios de resistência a compressão obtidos para os diferentes tipos de painéis avaliados para aplicação como divisória interna



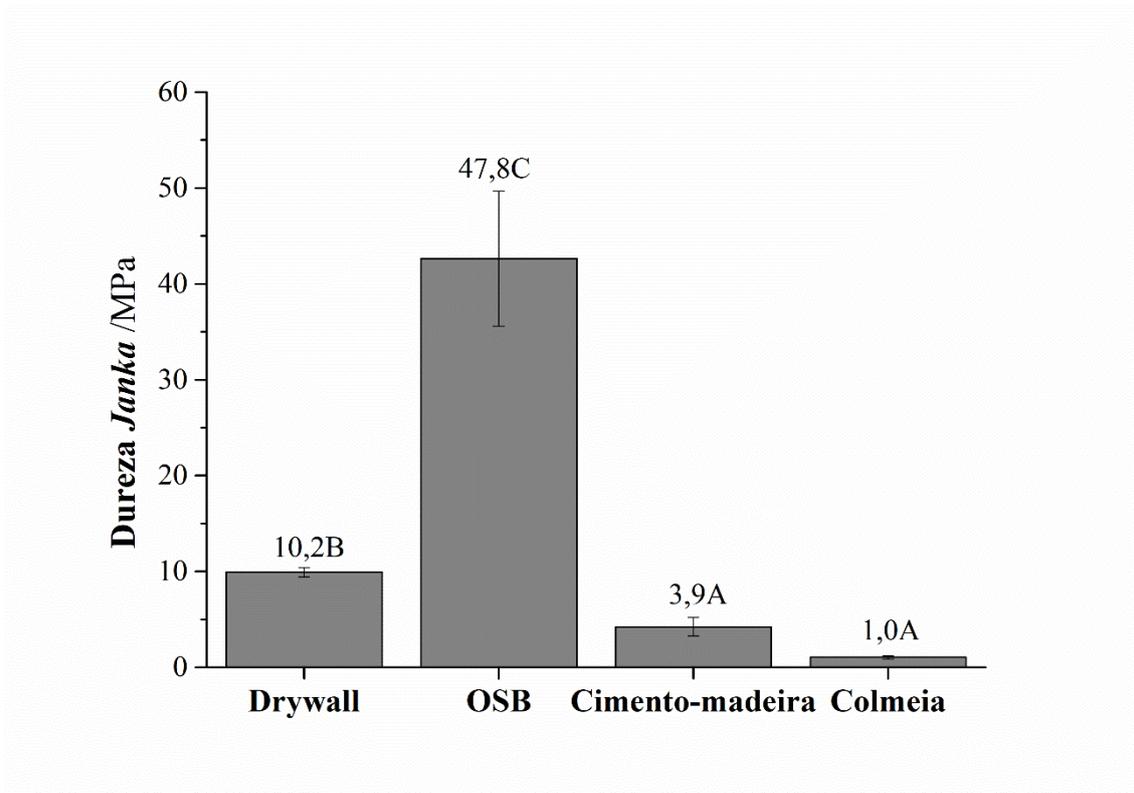
Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste Scott-Knott.

Fonte: Do autor (2020)

A norma NBR 14715 (ABNT, 2010), EN300 (2006) e Viroc (2016), não determinam valores mínimos de resistência a compressão para os painéis do tipo Drywall, OSB e cimento-madeira, respectivamente; assim como também, não existe uma normativa para os painéis colmeia. No entanto, o processo bison determina o valor mínimo de 15MPa para os painéis cimento-madeira; e a norma NBR 15575-4 (ABNT, 2013), que especifica os requisitos para sistemas de vedações verticais, determina o valor mínimo de resistência a compressão de 18 MPa. Dessa forma, apenas os painéis do tipo colmeia não estão aptos a serem utilizados como divisórias internas.

Faz-se necessário valores apropriados de compressão para o adequado assentamento e estabilização das esquadrias de janelas. Apesar desses tipos de divisórias internas não serem planejadas para suportar a carga de lajes ou de telhado, tais divisórias podem receber a aplicações de janelas, sendo necessários valores adequados de compressão para adequada estabilização e assentamento das esquadrias e da própria janela.

Figura 15 – Valores médios de dureza janka obtidos para os diferentes tipos de painéis avaliados para aplicação como divisória interna

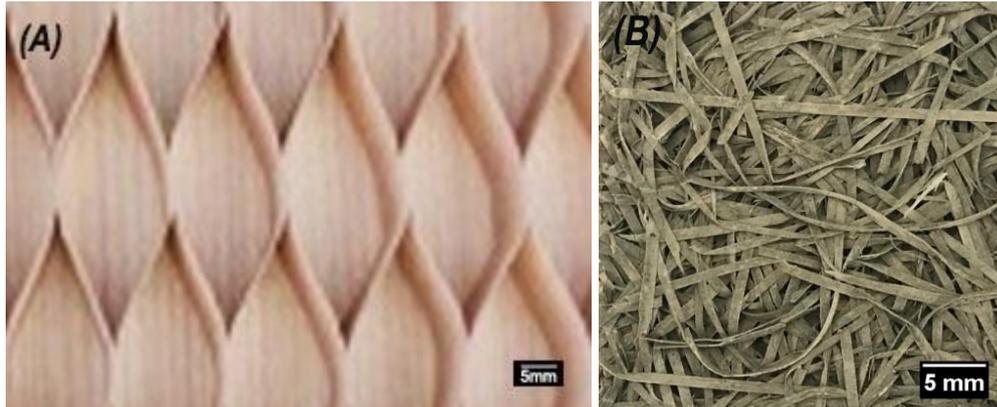


Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste Scott-Knott.

Fonte: Do autor (2020)

Ainda em relação a propriedade de dureza janka, observa-se que os painéis drywall obtiveram valores intermediários, diferenciando-se estatisticamente dos painéis cimento-madeira e colmeia. Não houve diferenciação estatística entre os painéis cimento-madeira e colmeia. Os menores valores obtidos para os painéis colmeia e cimento-madeira estão associados à estrutura física desses produtos (Figura 11), onde se observa grandes espaços vazios no centro do painel colmeia (Figura 16), não proporcionando resistência a penetração da esfera, apenas pelo fato das faces dos painéis; enquanto no caso dos painéis cimento-madeira existem macro poros em sua superfície que promovem redução da resistência desse produto a penetração da esfera (Figura 16).

Figura 16 – Aspecto do miolo dos painéis do tipo colmeia (A) e da face do painel cimento-madeira (B)



Fonte: Do autor (2020)

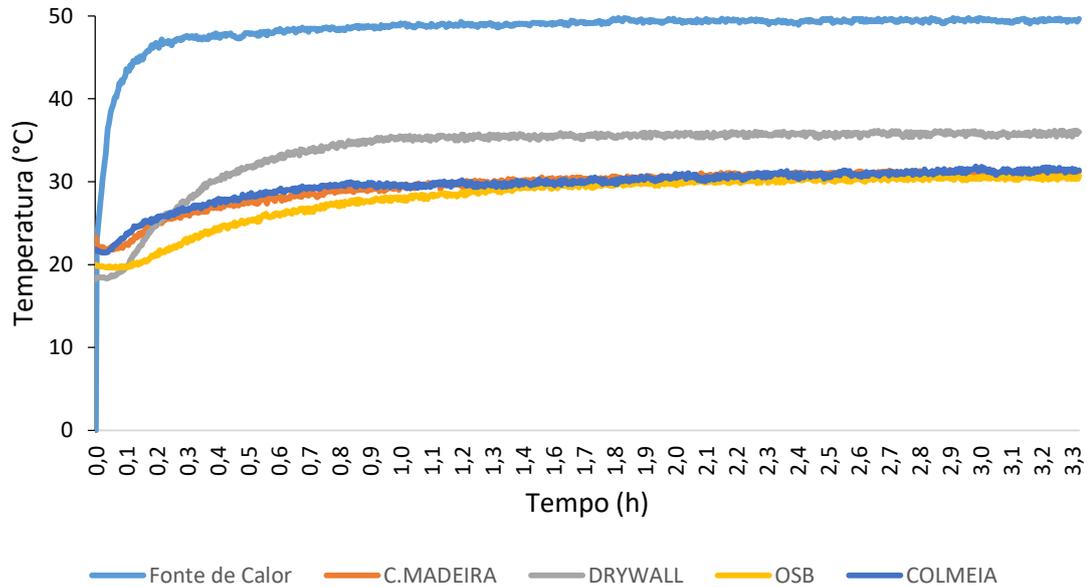
As normas NBR 14715 (ABNT, 2010), EN300 (2006), Viroc (2016), processo Bison e norma NBR 15575-4 (ABNT, 2013), não determinam valores mínimos de resistência a dureza janka para painéis do tipo *Drywall*, OSB, cimento-madeira e divisórias internas, respectivamente; assim como também, não existe uma normativa para os painéis colmeia.

A dureza janka fornece a resistência à penetração de outros corpos, sendo uma característica muito importante de ser avaliada em painéis com aplicabilidade em divisórias, pois necessitam de dureza o suficiente para colocação de quadros, espelhos, móveis e enfeites em geral. Nesse contexto, os painéis OSB foram os que apresentaram melhores resultados.

3.8 Conforto Térmico

A Figura 17 apresenta o gráfico de diferença de temperaturas registradas durante o tempo de ensaio de condutividade térmica dos painéis em relação a fonte de calor. A Tabela 1 apresenta os valores de variação de temperatura, condutividade térmica, resistência térmica e transmitância térmica para cada tipo de painel avaliado para divisória interna.

Figura 17 – Diferença de temperaturas registradas em relação a fonte de calor para cada tipo de divisória avaliada.



Fonte: Do autor (2020)

Tabela 1 – Valores obtidos para as propriedades térmicas para os diferentes tipos de painéis para divisórias

TRATAMENTO	ΔT (°C)	λ (W/(m.°C))	RT (m ² .°C/W)	TT (W/m ² .°C)
DRYWALL	13,18 (0,21) a	0,307 (0,005) c	0,049 (0,007) a	20,49 (0,323) b
OSB	19,28 (0,53) b	0,252 (0,007) a	0,071 (0,005) b	14,01 (0,482) a
C. MADEIRA	18,05 (0,60) b	0,261 (0,002) b	0,065 (0,004) b	15,40 (0,498) a
COLMEIA	16,59 (0,07) b	0,260 (0,001) b	0,062 (0,004) b	16,27 (0,622) a

C. MADEIRA = CIMENTO MADEIRA

ΔT = variação da Temperatura do painel; λ = condutividade térmica; RT= resistência térmica e TT= transmitância térmica.

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott. Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

Ao avaliar os diferentes tipos de painéis para divisórias internas observa-se que os painéis cimento-madeira, OSB e colmeia obtiveram igualdade estatística e se diferenciaram dos painéis drywall, obtendo os maiores valores de variação de temperatura, e demonstrando maior potencial de isolamento térmico (BRUNO et al., 2018; PÁSZTORY et al., 2018; WANG et al, 2018) .

Quando avaliada a condutividade térmica, observa-se que os painéis OSB apresentaram o menor valor médio, diferenciando-se estatisticamente dos demais tipos de painéis. Enquanto os painéis cimento-madeira e colmeia obtiveram igualdade estatística e se diferenciaram estatisticamente dos painéis drywall, obtendo menores valores de condutividade térmica. Apesar dos painéis OSB apresentarem maiores valores de densidade (Figura 4) e menores valores de porosidade (Figura 10) os quais afetam a condutividade térmica desses materiais (Kyriakidis et al. 2018; Wijesuriya et al., 2018), foi possível verificar que esses fatores não indicaram o melhor painel para o isolamento térmico, sendo esse influenciado de forma mais pronunciada pelo tipo de material aplicado. Kyriakidis et al. (2018) também observaram efeito do tipo de material sobre a condutividade térmica em paredes, sendo obtido menores valores para paredes produzidas com derivados de madeira (0,14 W/(m.°C)) do que as paredes produzidas com placas de drywall (0,25 W/(m.°C)).

Sendo assim, o principal motivo da redução da condutividade térmica em painéis produzidos com madeira ou com derivados de madeira em maior quantidade (OSB, Cimento-madeira e colmeia) se deve as características intrínsecas de cada material que os constituem, como a microporosidade na estrutura anatômica da madeira, e também a condutividade do material madeira (0,14 a 0,18) em relação a material como gesso (0,40 a 0,60) (FROTA e SCHIFFER, 2001). Esse fato também explica a redução da condutividade térmica em painéis drywall em comparação apenas com o gesso, haja visto a inclusão de placas de papel cartão na superfície desses painéis. No caso dos painéis colmeia, o efeito além do material de face ser derivado de madeira é a questão das bolsas de ar proporcionado pelo formato tipo colmeia.

Quanto as propriedades de resistência térmica e transmitância térmica observa-se que os painéis OSB, cimento-madeira e colmeia obtiveram igualdade estatística e diferenciaram-se estatisticamente dos painéis drywall para ambas as propriedades. Observou-se que os painéis alternativos, avaliados para substituição do drywall como divisórias internas, obtiveram os maiores valores de resistividade térmica e por consequência os menores valores de transmitância térmica.

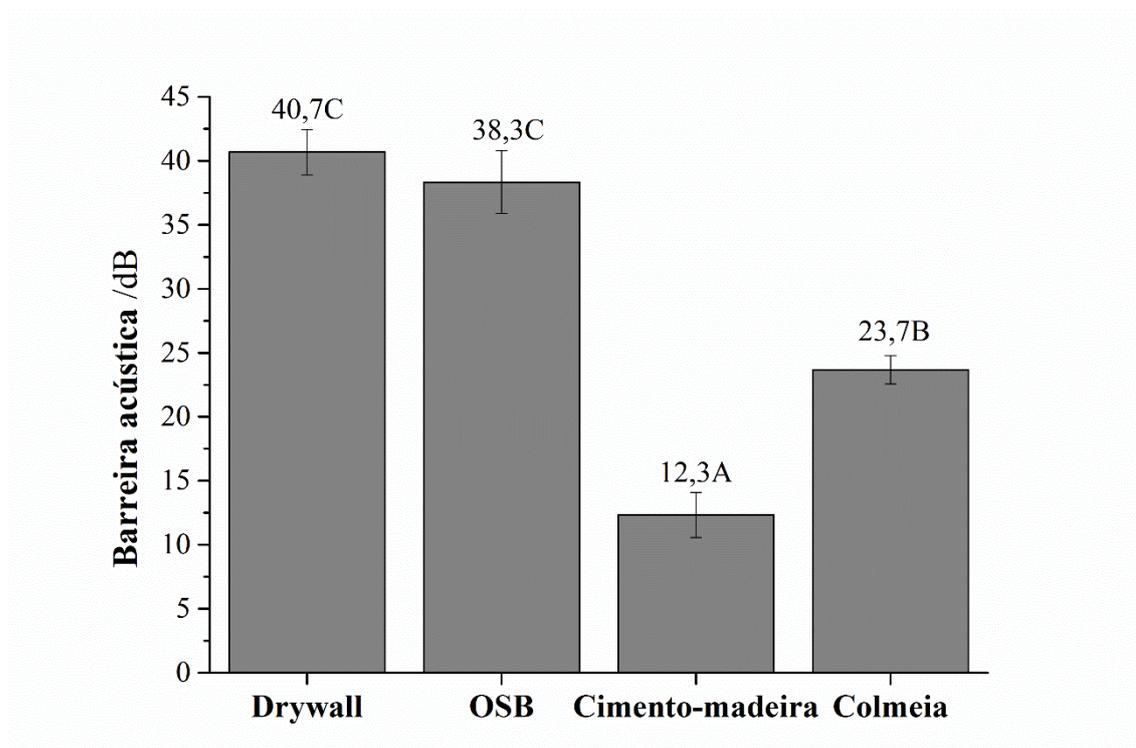
A redução dos valores relacionados à condutividade térmica e de transmitância térmica e o aumento da resistividade térmica são considerados excelentes resultados quando estamos nos referindo a materiais para construção, uma vez que, quanto menores a condutividade e a transmitância térmica, menor será a troca de temperatura entre as paredes (MUNIZ-GAAL et al., 2018), resultando em painéis mais adequados para aplicações residências ou comerciais que exijam um ambiente com maior conforto térmico e que vise um menor gasto energético para climatização (KRUGER et al, 2009; SUTCU, 2015).

3.9 Barreira Acústica

Os valores médios obtidos para o ensaio de barreira acústica dos diferentes tipos de painéis para divisórias internas podem ser visualizados na Figura 18.

Os painéis drywall e OSB obtiveram os maiores valores médios de barreira acústica, apresentando igualdade estatística e se diferenciando estatisticamente dos painéis cimento-madeira e colmeia. Também foi observada diferença estatística quando comparados os painéis cimento-madeira e colmeia, sendo os maiores valores médios de barreira acústica obtidos para os painéis do tipo colmeia.

Figura 18 – Valores médios de barreira acústica obtidos para os diferentes tipos de painéis avaliados para aplicação como divisória interna



Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste Scott-Knott.

Fonte: Do autor (2020)

Apesar dos painéis OSB apresentarem os maiores valores de densidade e os menores valores de porosidade, os quais auxiliam no isolamento acústico do produto, observa-se que o mesmo obteve igualdade estatística com os painéis drywall, comumente já utilizados em escala industrial e reconhecidos pelo seu bom isolamento sonoro (CHEN et al, 2008; COWAN et al., 2014). Tal justificativa se deve a característica da material madeira em

relação ao gesso, em que para a madeira observam-se valores de isolamento acústico menores do que os obtidos para o gesso (LEVY, 1992; COWAN et al., 2014; TVWONIAK et al., 2016), o que está associado as características anatômicas da madeira.

Os painéis cimento-madeira obtiveram o pior desempenho entre as divisórias internas avaliadas, o que pode ser justificado pela sua estrutura física mais aberta (Figuras 11 e 16), que promove a passagem direta de parte do som emitido. Sendo assim, é indicada a utilização de painéis cimento-madeira para divisórias internas com estrutura mais fechada e com maior densidade. Apesar dos painéis colmeia apresentarem bolsas de ar no seu interior, devido ao seu método de produção, a sua composição em faces não foi suficiente para proporcionar maior barreira ao som.

A norma NBR 14715 (ABNT, 2010) determina que os painéis drywall devam apresentar barreira acústica mínima de 35 a 37dB. As normas Viroc (2016) e processo Bison especificam para os painéis cimento-madeira os valores de 35 e 33 dB, respectivamente. A norma EN300 (2006) não especifica valores para os painéis OSB; e não existe uma normativa para os painéis colmeia. Enquanto a norma NBR 15575-4 (ABNT, 2013), determinam o valor mínimo de 30 dB para divisórias internas. Sendo assim, apenas os painéis drywall e OSB atenderam as suas respectivas normas de comercialização e também as recomendações da norma de divisória internas.

3.10 Ensaio de Combustibilidade

Os valores médios obtidos para o ensaio de combustibilidade dos diferentes tipos de painéis para divisórias internas podem ser visualizados nas Figuras 19 e 20. Na Figura 19 é possível observar a relação da perda de massa dos painéis em função do tempo de combustão, sendo verificado comportamento distinto de todos os tipos de painéis avaliados. O início da degradação dos painéis colmeia, OSB, cimento-madeira e drywall foram próximos de 30, 45, 80 e 105 minutos, respectivamente. A Figura 20 exhibe a perda de massa dos painéis em função da temperatura, podendo ser observado o início da degradação dos mesmos nas temperaturas próximas à 350°C, 500°C, 800°C e 1000°C, para colmeia, OSB, cimento-madeira e drywall, respectivamente. A perda de massa final de cada tipo de painel foi da ordem de 24% para os painéis drywall, 53% para os painéis cimento-madeira, 79% para os painéis OSB e 86% para os painéis colmeia.

Figura 19 - Perda de massa dos painéis em função do tempo para o teste de combustibilidade.

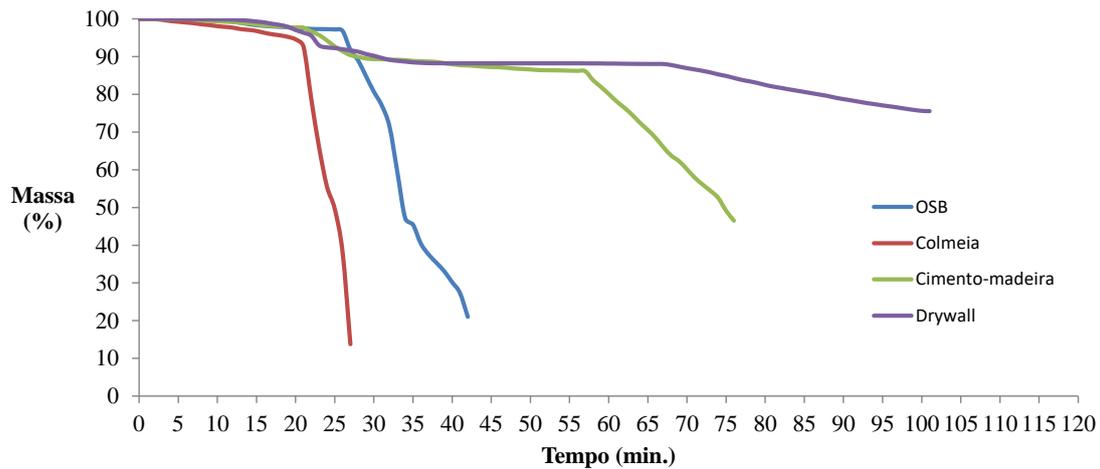
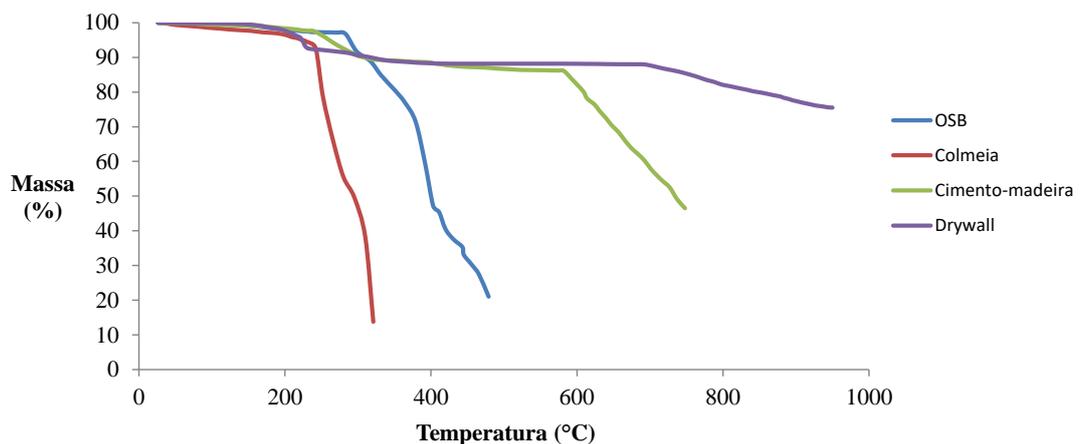


Figura 20 - Perda de massa dos painéis em função da temperatura para o teste de combustibilidade.



De forma geral observou-se que os painéis *drywall* apresentaram a maior temperatura e o maior tempo para atingir sua degradação final, além de resultar em menor perda de massa final, sendo considerado, portanto, como os painéis com maior estabilidade térmica e os mais indicados para ambientes que apresentam maior risco de incêndios, pois possibilitariam maior tempo para adequada evacuação do local.

Dentre os painéis alternativos avaliados para aplicação como divisórias, os painéis cimento-madeira foram os que obtiveram melhor resultado, devido à sua maior resistência proporcionada pelo recobrimento do cimento nas partículas de madeira (MENDES et al., 2017). As menores resistências a degradação térmica foram observadas para os painéis OSB e colmeia, com maior destaque para os painéis colmeia, que apresentaram menor tempo e temperatura de degradação, além de maior perda de massa final, o que se deve a sua estrutura

mais aberta (Figura 11) e suas faces recobertas com materiais poliméricos, que proporciona maior propagação das chamas.

A maior decomposição térmica dos painéis OSB e colmeia se justificam, principalmente, devido à degradação térmica das hemiceluloses e da celulose (GANI; NARUSE, 2007; PROTASSIO et al., 2015). É relatada na literatura a menor estabilidade térmica dos carboidratos presentes na biomassa lignocelulósica, ou seja, a holocelulose (celulose e hemicelulose) se degrada em baixas temperaturas (POLETTTO et al., 2012; PROTÁSSIO et al., 2013). A maior decomposição térmica das hemiceluloses deve-se a sua estrutura química amorfa, ramificada e facilmente hidrolisável (YANG et al., 2007), enquanto na celulose o maior efeito ocorre na região amorfa. Geralmente, as hemiceluloses são degradadas entre as temperaturas de 220°C e 315°C, a celulose entre 275°C e 350°C, a lignina entre 150°C e 900°C e os extrativos entre 150 e 600°C (GANI; NARUSE, 2007; YANG et al., 2007; POLETTTO et al., 2012). Logo, em uma situação de incêndio residencial ou comercial, a composição química do painel constituído em sua maioria por material lignocelulósico, irá afetar a sua resposta quanto a sua estabilidade térmica e ao tempo de evacuação do local e de propagação do incêndio.

3.11 Análise de custo

A análise dos custos do produto por m² para cada tipo de painel avaliado como divisória interna está demonstrada na Tabela 2.

Tabela 2 – Análise de custos dos painéis avaliados para divisórias internas

Tratamento	Quantidade	Unidade	Custo (R\$/m²)	Custo total (103,46m²)
DRYWALL	1	m ²	R\$ 16,20	R\$ 1.676,05
OSB	1	m ²	R\$ 47,40	R\$ 4.904,00
C. MADEIRA	1	m ²	R\$ 13,45	R\$ 1.391,54
COLMEIA	1	m ²	R\$ 10,70	R\$ 1.107,02

Fonte: Do autor (2019)

Em relação aos painéis drywall, que é a divisória em formato de painel mais utilizada atualmente, observa-se que o uso dos painéis cimento-madeira e colmeia deixam a obra com o menor custo, com reduções de 16,98 e 33,95%, respectivamente, enquanto as divisórias de painéis OSB aumentam os custos em 192,59%. Apesar disso, observa-se que o valor total gasto para divisórias internas para uma casa padrão (Figura 3) é muito baixo em relação a um

custo total da obra, a qual pode oscilar de R\$1100 a R\$2300 (REMASTER, 2020), além do que, dependendo das propriedades apresentadas pelos painéis, a diferença pode compensar com o tempo, com a redução dos custos de energia, ou proporcionando maior conforto sonoro aos ocupantes de uma casa, ou de estabelecimentos comerciais. Portanto, a análise de custos deve sempre estar relacionada com o seu custo-benefício, permitindo ao consumidor uma escolha mais adequada para suas necessidades.

3.12 Análise comparativa entre as divisórias internas

Na Tabela 3 é possível observar uma comparação resumida dos diferentes tipos de painéis para divisórias, avaliados em função de suas diferentes propriedades. Observa-se, de forma geral, que os painéis OSB se destacaram quanto suas propriedades físicas, mecânicas e térmicas. Contudo, os painéis drywall demonstraram boas propriedades para divisórias, apresentando ainda o melhor desempenho em incêndios e melhor custo em relação aos painéis OSB. Os painéis OSB e drywall obtiveram os melhores resultados para isolamento acústico. Os painéis OSB e drywall atenderam a todos os critérios determinados pela norma NBR 15575-4 (ABNT, 2013), que se referem aos painéis para aplicações como painéis de vedação.

Tabela 3 – Tabela de classificação de desempenho comparativo entre os diferentes tipos de painéis avaliados para aplicação como divisórias internas

Propriedade	Classificação de desempenho			
	1°	2°	3°	4°
Densidade	Colmeia	C. madeira	Drywall	OSB
AA2h	OSB	Drywall e C. madeira	Colmeia	
AA24h	OSB	Drywall e C. madeira	Colmeia	
IE2h	Drywall, OSB, C. madeira e			

	Colmeia			
IE24h	Drywall	C. madeira	OSB	
Umidade	Drywall	C. madeira	OSB e Colmeia	
Porosidade	OSB	Drywall e C. madeira		
Flexão (MOR)	OSB	Drywall, C. madeira e Colmeia		
Flexão (MOE)	OSB	Drywall	C. madeira	Colmeia
Compressão	OSB	Drywall e C. madeira	Colmeia	
Dureza <i>janka</i>	OSB	Drywall	C. madeira e Colmeia	
Desempenho Térmico	OSB	C. madeira e Colmeia	Drywall	
Barreira Acústica	Drywall e OSB	Colmeia	C. madeira	
Combustibilidade	Drywall	C. madeira	OSB	Colmeia
Análise de custo	Colmeia	C. madeira	Drywall	OSB

Fonte: Do autor (2020)

4. CONCLUSÃO

Dentre os tipos de materiais alternativos avaliados como opção para substituir os painéis *drywall*, os painéis OSB foram os que obtiveram o melhor desempenho quanto as propriedades físicas, mecânicas e térmicas, e obtendo desempenho acústico semelhante à dos painéis *drywall*. Porém, obtiveram menor desempenho quanto a resistência a incêndios e ainda o maior custo dentre os diferentes tipos de divisórias internas avaliadas.

Os painéis *drywall* demonstraram adequadas propriedades físicas, mecânicas e acústicas para aplicações em divisórias, apresentando ainda o melhor desempenho em incêndios e melhor custo em relação aos painéis OSB. No entanto, demonstraram os piores valores para o isolamento térmico dentre os painéis avaliados.

Os tipos de painéis cimento-madeira e colmeia, avaliados nesse estudo, demonstraram que ainda são necessários ajustes nos seus processos produtivos para possibilitar adequada aplicação como divisórias internas.

Os painéis *drywall* e OSB atenderam a todos os critérios determinados pela norma NBR 15575-4 (ABNT, 2013), para aplicações como painéis de vedação, podendo assim ser utilizados para divisórias internas em obras da construção civil. Cabendo ao consumidor decidir quais tipos de características deseja para sua construção e levar em conta a relação custo-benefício mais apropriada.

5. AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, à Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2017. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/panorama/> Acesso em 21 de março de 2020.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). ASTM D 1037: Standard methods of evaluating properties of wood-base fiber and particles. **Materials Philadelphia**, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-4: Sistema de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro, p. 1 – 57, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14715: Gypsum plasterboards for drywall. Part 1: Requirements. Rio de Janeiro, 2010.

BALARAS, C. A.; DROUTSA, K.; ARGIRIOU, A. A.; ASIMAKOPOULOS, D. N. Potential for energy conservation in apartment buildings. **Energy and buildings**, Lausanne, v. 31, n. 2, p. 143-154, 2000.

BENACHIO, G. L. F.; FREITAS, M. do C. D.; TAVARES, S. F. Circular economy in the construction industry: A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, p. 121046, 2020.

BISON WOOD-CEMENT BOARD. Technical hand book. Bison Report. Berlin, p. 1- 36. 2017.

BRAGANÇA, L.; MATEUS, R.; KOUKKARI, H. Building sustainability assessment. **Sustainability**, Cracóvia, v. 2, n. 7, 2010.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica**, São Paulo, v. 61, n. 358, p. 178-189, 2015.

BRUNO, R. et al. An innovative compact facility for the measurement of the thermal properties of building materials: first experimental results. **Applied Thermal Engineering**, [S.I.], v. 143, p. 947-954, 2018.

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. OSB and Waferboard. CSA 0437.0 – 93. Ontário: 1993. 18p.

CARVALHO, A. G.; MORI, F. A.; MENDES, R. F.; SILVA, M.G.; MENDES, L. M. Adesivos Tânicos de *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville na produção de painéis aglomerados. **Revista Árvore** (Impresso), Viçosa, v. 38, p. 195-202, 2014.

CHEN, J.; WANG, J.; MUCKIAN, G. Sound transmission loss of movable double-leaf partition wall. In: **Collaborative Product and Service Life Cycle Management for a Sustainable World**. Springer, London, p. 163-172, 2008.

Conselho Europeu para uma Economia Eficiente em Energia, 2013. Disponível em: <https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/partners/ecee>. Acesso em 21 de março de 2020.

COWAN, J. Building acoustics. In: **Springer handbook of acoustics**. Springer, New York, NY, p. 403-442, 2014.

DIAS, P. et al. Recycling WEEE: Extraction and concentration of silver from waste crystalline silicon photovoltaic modules. **Waste Management**, [S.I.], v. 57, p. 220-225, 2016.

FIORINO, L.; PALI, T.; LANDOLFO, R. Out-of-plane seismic design by testing of non-structural lightweight steel drywall partition walls. **Thin-Walled Structures**, [S.I.], v. 130, p. 213-230, 2018.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. C.; **Manual de Conforto Térmico**. 5.ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GANI, A.; NARUSE, I. Effect of cellulose and lignin content on pyrolysis and combustion characteristics for several types of biomass. **Renewable energy**, [S.I], v. 32, n. 4, p. 649-661, 2007.

GE, JT KLOPROG; FROST, R. L. Raman microscopy at 77 K of natural gypsum $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. **Journal of materials science letters**, [S.I], v. 19, p. 229-231, 2000.

HAMMOND, G.; JONES, C. **Inventory of carbon & energy: ICE. Bath: Sustainable Energy Research Team**, Department of Mechanical Engineering, University of Bath, 2008b.

HAMMOND, G. P.; JONES, C. I. Embodied energy and carbon in construction materials. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Energy**, [S.I], v. 161, n. 2, p. 87-98, 2008a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Acoustics — In-situ determination of insertion loss of outdoor noise barriers of all types. ISO 10847:2018.

IWAKIRI, S. et al. Produção de painéis aglomerados de alta densificação com uso de resina melamina-uréia-formaldeído. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 4, p. 323-328, 2005.

IWAKIRI, S.; MENDES, L. M.; SALDANHA, L. L.; SANTOS, J. C. dos. Use of Eucalyptus wood for oriented strand board (OSB) manufacturing. **Cerne**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 046-052, 2015.

KELLY, M. W. Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard. US Department of Agriculture, **Forest Service**, Forest Products Laboratory, 1977.

KYRIAKIDIS, A. et al. Thermal performance and embodied energy of standard and retrofitted wall systems encountered in Southern Europe. **Energy**, [S.I], v. 161, p. 1016-1027, 2018.

KRÜGER, E. L. et al. Thermal analysis of wood–cement panels: Heat flux and indoor temperature measurements in test cells. **Construction and building materials**, Guildford, v. 23, n. 6, p. 2299-2305, 2009.

LEVY, S. M. Interior Partitions, Ceilings, Wall and Floor Finishes. In: **The Construction Superintendent's Handbook**. Springer, Boston, p. 253-272, 1992.

LEŚNIAK, A.; ZIMA, K. Cost calculation of construction projects including sustainability factors using the Case Based Reasoning (CBR) method. **Sustainability**, Cracóvia, v. 10, n. 5, p. 1608-1622, 2018.

LI, M.; KHELIFA, M.; KHENNANNE, A.; EL GANAOU, M. Structural response of cement-bonded wood composite panels as permanent formwork. **Composite Structures**, Oxford, v. 209, p. 13-22, 2019.

LOUËRAT, M.; AYOUB, M.; PERRÉ, P. Heat and moisture diffusion in spruce and wood panels computed from 3-D morphologies using the Lattice Boltzmann method. **International Journal of Thermal Sciences**, [S.I], v. 130, p. 471-483, 2018.

LOVELL, H.; SMITH, S. J. Agencement in housing markets: The case of the UK construction industry. **Geoforum**, [S.I], v. 41, n. 3, p. 457-468, 2010.

LP BUILDING SOLUTIONS – Empresa fabricante de painéis OSB. Disponível em: <https://www.lpbrasil.com.br/>. Acesso em: 03/03/2020.

LUO, Z. et al. Numerical and experimental study on temperature control of solar panels with form-stable paraffin/expanded graphite composite PCM. **Energy Conversion and Management**, [S.I], v. 149, p. 416-423, 2017.

MALONEY, T. M. Modern particleboard and dry-process fiberboard. 2.ed. San Francisco: Miller Freeman, 1993.

MAROUŠEK, J. et al. Postponing of the intracellular disintegration step improves efficiency of phytomass processing. **Journal of cleaner production**, Amsterdam, v. 199, p. 173-176, 2018.

MELO, R. R. Estabilidade dimensional de compostos de madeira. **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, Pelotas, v. 4, n. 2, p. 10-12953/2177-6830. 2013.

MENDES, R. F. et al. Effects of thermal pre-treatment and variables of production on properties of OSB panels of *Pinus taeda*. **Maderas. Ciencia y tecnología**, Concepción, v. 15, n. 2, p. 141-152, 2013.

MENDES, R. F. et al. Lignocellulosic residues in cement-bonded panels. In: Sustainable and nonconventional construction materials using inorganic bonded fiber composites. **Woodhead Publishing**, [S.I], p. 3-16, 2017.

MENDES, R. F. et al. Properties of OSB panels with veneer inclusion. **Maderas. Ciencia y tecnología**, Concepción, v. 17, n. 4, p. 843-856, 2015.

NASCIMENTO, M. F. et al. OSB panels made with wood species from the Brazilian Northeast's caatinga. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 1, p. 41-48, 2015.

NHBC Foundation. Modern Methods of Construction. 978-1-84806-451-5, NHBC Foundation, Buckinghamshire, 2016.

OLIVEIRA, S. L. et al. Avaliação não destrutiva de painéis de partículas de média densidade pelo método Stress Wave Timer. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 91, p. 243-247, 2017.

PANESAR, P. S. et al. Bio-processing of agro-industrial wastes for production of food-grade enzymes: progress and prospects. **Applied Food Biotechnology**, Irã, v. 3, n. 4, p. 208-227, 2016.

- PÁSZTORY, Z. et al. Experimental investigation of the influence of temperature on thermal conductivity of multilayer reflective thermal insulation. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 174, p. 26-30, 2018.
- PEDROSO, M.; DE BRITO, J.; SILVESTRE, J. D. Characterization of eco-efficient acoustic insulation materials (traditional and innovative). **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 140, p. 221-228, 2017.
- PÉREZ-LOMBARD, L.; ORTIZ, J.; POUT, C. A review on buildings energy consumption information. **Energy and buildings**, Lausanne, v. 40, n. 3, p. 394-398, 2008.
- PICCARDO, C.; DODOO, A.; GUSTAVSSOM, L.; TETTEY, U. Y. A. Retrofitting with different building materials: Life-cycle primary energy implications. **Energy**, [S.I.], v. 192, p. 116648, 2020.
- POLETTO, M.; ZATTERA, A. J.; FORTE, M. M. C.; SANTANA, R. M. C. Thermal decomposition of wood: Influence of wood components and cellulose crystallite size. **Bioresource Technology**, Mohali, v. 109, p. 148-153, 2012.
- PROTÁSIO, T. de P. et al. Thermal decomposition of torrefied and carbonized briquettes of residues from coffee grain processing. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 37, n. 3, p. 221-228, 2013.
- PROTÁSIO, T. P. de et al. Thermal stability of particleboards of sugar cane bagasse and Pinus spp. wood. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 107, p. 683-691, 2015.
- REDDY, B.V; JAGADISH, K. S. Embodied energy of common and alternative building materials and technologies. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 35, n. 2, p. 129-137, 2003.
- REMASTER. Estimativa de custo para construção de imóvel residencial 2020. Disponível em: <http://www.remaster.eng.br/estimativadecusto/>. Acesso 21 de março de 2020.
- RIBEIRO, D. P. et al. Effect of Heat Treatment on the Properties of Sugarcane Bagasse Medium Density Particleboard (MDP) Panels. **Waste and Biomass Valorization**, [S.I.], p. 1-13, 2019.
- SMAJDA, L. Labour Market Shortages in the European Union Policy Department A: Economic and Scientific Policy, **European Parliament**, Brussels, 2015.
- SURDI, P. G. et al. Use of hybrid Pinus elliottii var. elliottii × Pinus caribaea var. hondurensis and Pinus taeda L. in the production of OSB panels. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 108, p. 763-772, 2015.
- SURDI, P. G. et al. Relação entre perfil de densidade e ligação interna de painéis OSB de Pinus spp. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 3, p. 349-357, 2014.
- ŠVAJLENKA, J.; KOZLOVSKÁ, M. Evaluation of the efficiency and sustainability of timber-based construction. **Journal of Cleaner Production**, Brno, p. 120835, 2020.

TYWONIAK, J.; MICHAL, B.; MARTIN, V. Wood Based Curtain Wall for Retrofit of Nonresidential. **Stahlbau**, [S.I], v. 85, p. 321-333, 2016.

UFODIKE, C. O. et al. Evaluation of the inter-particle interference of cellulose and lignin in lignocellulosic materials. **International Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, v. 147, p. 762-767, 2020.

VENKRBEC, V.; KLANŠEK, U. Suitability of recycled concrete aggregates from precast panel buildings deconstructed at expired lifespan for structural use. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 247, p. 119593, 2020.

VIEIRA, B. A.; NOGUEIRA, L. Construção civil: crescimento versus custos de produção civil. **Sistemas & Gestão**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 3, p. 366-377, 2018.

VILELA, A. P. et al. Surface Modification of Tire Rubber Waste by Air Plasma for Application in Wood-Cement Panels. **BioResources**, New York, v. 13, n. 3, p. 6409-6427, 2018.

WANG, J. S. et al. Thermal insulation performance of bamboo-and wood-based shear walls in light-frame buildings. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 168, p. 167-179, 2018.

WIJESURIYA, S.; BRANDT, M.; TABARES-VELASCO, P. C. Parametric analysis of a residential building with phase change material (PCM)-enhanced drywall, precooling, and variable electric rates in a hot and dry climate. **Applied Energy**, [S.I], v. 222, p. 497-514, 2018.

WILSON A.B, ŠAJN N. Revised energy efficiency directive, European Parliamentary **Research Service**, [S.I], p. 923, 2018.

WOODS, J.; WINKLER, Jon. Effective moisture penetration depth model for residential buildings: Sensitivity analysis and guidance on model inputs. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 165, p. 216-232, 2018.

YANG, H. et al. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. **Fuel**, [S.I], v. 86, n. 12-13, p. 1781-1788, 2007.

YEHEYIS, M. et al. An overview of construction and demolition waste management in Canada: a lifecycle analysis approach to sustainability. **Clean Technologies and Environmental Policy**, [S.I], v. 15, n. 1, p. 81-91, 2013.