

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA

FÉLIX QUEIROZ DE JESUS

DESENVOLVIMENTO DE UM APARELHO PARA CAPTURAR
FORMALDEÍDO ATMOSFÉRICO EM MANTA DE ALGODÃO

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO

2022

FÉLIX QUEIROZ DE JESUS

DESENVOLVIMENTO DE UM APARELHO PARA CAPTURAR
FORMALDEÍDO ATMOSFÉRICO EM MANTA DE ALGODÃO

Monografia apresentada ao Departamento
de Ciências Florestais e da Madeira da
Universidade Federal do Espírito Santo,
como requisito parcial para obtenção do
título de Engenheiro Industrial Madeireiro.

JERÔNIMO MONTEIRO

ESPÍRITO SANTO

2022

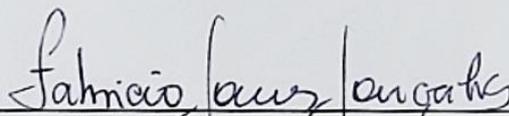
FÉLIX QUEIROZ DE JESUS

DESENVOLVIMENTO DE UM APARELHO PARA CAPTURAR
FORMALDEÍDO ATMOSFÉRICO EM MANTA DE ALGODÃO

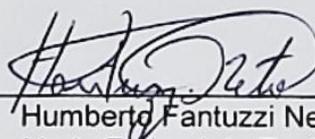
Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Industrial Madeireiro.

Aprovada em 12 de agosto de 2022.

COMISSÃO ORGANIZADORA



Fabricio Gomes Gorçães
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador



Humberto Fantuzzi Neto
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador



Emilly Soares Gomes da Silva
Doutoranda em Ciências Florestais
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinadora

“O realista sabe aonde vai, mas o sonhador já esteve lá!”

Luiz Hermínio

*“Portanto, quer comais, quer bebais ou façais qualquer coisa,
fazei tudo para a glória de Deus”. - 1 Coríntios 10:31*

AGRADECIMENTO

Primeiramente quero agradecer a Deus que é Pai, Senhor e Salvador da minha vida, por me proporcionar saúde e sabedoria durante todo o caminho até aqui, pelo sacrifício de Jesus na cruz para que hoje pudéssemos ter vida e vida em abundância, por sempre estar presente conosco e nos abraçar com amor, pela sua promessa que em breve voltará, MARANATA!

A minha família por toda a força em diversos momentos, em especial a minha avó Carmelita Queiroz de Jesus, minha mãe Sebastiana Queiroz de Jesus, minha tia Maria Sônia Queiroz de Jesus, minhas irmãs Bárbara Queiroz de Jesus e Andressa Jesus de Souza por serem as colunas de sustentação na minha caminhada, pelos incontáveis incentivos e inspiração de garra e força na vida para buscar os objetivos.

As minhas amadas companheiras de casa Lorrainy e Tayná que estiveram comigo desde o início dessa jornada acadêmica e que compartilharam tantos momentos comigo, desde bolos solados a deliciosos churrascos, vocês com toda certeza são partes importantes na minha vida, são mulheres inspiradoras.

À Universidade Federal do Espírito Santo, ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, ao Laboratório de Painéis e toda equipe por terem me possibilitado realizar esse trabalho.

Ao professor e orientador Fabricio Gomes Gonçalves, pela amizade, paciência e orientação desde a iniciação científica.

À Placas do Brasil S.A. pela disponibilidade na cessão do espaço para instalação do experimento.

Aos meus amigos de curso pelos anos juntos, pela amizade e por estarem comigo nos momentos difíceis, pelas risadas em meios ao desespero acadêmico.

A todos os professores, são exemplos de profissionais, agradeço por toda o conhecimento e ajuda que me proporcionaram durante todo o curso, tenho um coração agradecido por tudo que fizeram por mim e demais alunos, a educação transforma e vocês são muito importantes para isso.

A todas as pessoas que trabalham no departamento, por zelarem da nossa segurança, limpeza do ambiente e deixarem nosso Departamento sempre lindo e agradável para a nossa convivência.

A todas as pessoas que passaram pela minha vida durante todos esses anos e contribuíram direta ou indiretamente.

RESUMO

Os painéis reconstituídos de madeira são produtos com aplicações nas indústrias da construção civil e mobiliária. Para a adesão das partículas são utilizadas em grandes escalas resinas à base de hidrocarbonetos, sendo a ureia-formaldeído a mais utilizada. O formaldeído é um gás incolor e possui um cheiro forte em temperatura ambiente; sua inalação por exposição por curto ou longo tempo pode resultar em sintomas respiratórios. O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um equipamento capaz de capturar o formaldeído atmosférico no interior de uma fábrica de painéis de *Medium Density Fiberboard* (MDF), por meio de sucção do ar e a passagem do ar por uma manta de algodão, foi colocado em 50 ml de água destilada por 24 horas, utilizando o mesmo procedimento foi realizado um teste preliminar do equipamento no interior do Laboratório de Painéis (LABPA), localizado no Departamento de Ciência Florestais e da Madeira. Na água residual analisou-se com o reagente de grafe (colorimétrico), visando a presença ou não de formaldeído. Foi também realizado um teste de volatilidade do formaldeído impregnado no algodão seco e mantido em estufa e outro exposto em ambiente externo no LABPA, que após 20 dias foram analisados para inferir a presença de formaldeído. Em testes laboratoriais com um sistema fechado, onde a passagem forçada de formaldeído (gás) em manta de algodão, e posterior teste da presença de formaldeído com a reagente de grafe, foi possível detectar a presença do mesmo na água de lavagem da manta de algodão. Nas amostras coletadas com o equipamento de passagem forçada do ar nas instalações do LABPA e da fábrica de painéis de MDF, a detecção de formaldeído com reagente de grafe não acusou de forma positiva a presença de formaldeído, suspeita-se que a concentração presente na manta seja baixa ou o formaldeído evaporou entre o tempo de coleta e de testes laboratoriais.

Palavras-chave: Formaldeído, Amostrador passivo, Ar interior, Emissão gasosa, MDF, Equipamento de medida.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	OBJETIVOS.....	4
2.1	Objetivo geral.....	4
2.2	Objetivos específicos.....	4
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1	<i>Medium Density Fiberboard</i> (MDF).....	5
3.2	Dados econômicos dos painéis reconstituídos	7
3.3	O Formaldeído	11
3.4	Exposição, danos à saúde humana e ao ambiente natural	15
4.	METODOLOGIAS DE MEDIÇÃO ATMOSFÉRICA	18
4.1	Metodologias de análises de formaldeído em painéis reconstituídos	20
4.1.1	Método do dessecador	20
4.1.2	Método da análise de gás.....	20
4.1.3	Método do frasco	21
4.1.4	Método do <i>perforator</i>	21
5.	METODOLOGIA	23
5.1	Desenvolvimento do protótipo de sucção de ar	23
5.2	Local do experimento.....	24
5.3	Análise da eficiência do protótipo	27
5.4	Teste do reagente de grafe.....	27
5.5	Teste sobre a volatilidade do formaldeído impregnado no algodão.....	28
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
6.1	Análise das amostras coletadas na prensa do laboratório.....	30
6.2	Análise das amostras coletadas na fábrica de MDF	30
6.3	Análise do algodão do sistema fechado	31
6.4	Análise da volatilidade do algodão	32
7.	CONCLUSÃO	34
8.	SUGESTÕES	34
9.	REFERÊNCIAS	35

LISTA DE TABELA

Tabela 1: Métodos padrão para teste de emissão de formaldeído.....	20
--	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Características gerais do formaldeído	12
Quadro 2: Propriedades química e físicas do formol.....	12
Quadro 3: Efeitos do formol em baixas concentrações no ar sobre o ser humano ...	17
Quadro 4: Vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de equipamentos para medição de poluição do ar	19

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização ilustrativa das indústrias de painéis (MDP, MDF e Chapa de Fibra) no Brasil.	6
Figura 2: Representação da quantidade de painéis de fibras produzidas no mundo (MDF e HDF).	7
Figura 3: Representação dos dez maiores países produtores de MDF e HDF no mundo.	8
Figura 4: Representação da produção de painéis MDF e HDF no Brasil nos últimos 10 anos.	8
Figura 5: Representação dos 10 principais países exportadores de painéis MDF e HDF.	9
Figura 6: Representação dos principais destinos das exportações dos painéis de madeira produzidos no Brasil.	10
Figura 7: Representação dos 10 principais países importadores de painéis de MDF e HDF no mundo.	10
Figura 8: Representação quantitativa da importação de MDF / HDF realizada pelo Brasil entre os anos de 2010 e 2020.	11
Figura 9: Representação do consumo de formaldeído no mundo no ano de 2019. ...	14
Figura 10: Levantamento das aplicações industriais do formaldeído e seus produtos derivados.	15
Figura 11: Detalhes da ventoinha (coller) utilizada na captura do ar atmosférico.	23
Figura 12: Croqui do protótipo desenvolvido.	24
Figura 13: Protótipo desmontado e pronto para ser instalado.	24
Figura 14: Vista aérea da empresa Placas do Brasil S/A, Pinheiro, ES.	25
Figura 15: Ilustração dos locais de instalação dos protótipos ao longo da prensa e detalhe do mesmo próximo a fonte de alimentação de eletricidade.	26
Figura 16: Esterilização das mantas filtro de algodão em câmara de ultravioleta.	27
Figura 17: Esquema idealizado para um sistema fechado visando aferição do teste com o reagente de grafe.	28
Figura 18: Algodão com formaldeído seco em estufa (1) e disposto em área externa ao LABPA (2) para análise e aferição da metodologia.	29

- Figura 19: Análise das mantas de algodão obtidas no Laboratório de Painéis. 1: aplicada 3 gotas do reagente; 2: aplicada 6 a 10 gotas de reagente; 3: aplicado 10 a 15 gotas de reagente; A: manta de algodão da prensa; B: algodão puro usado como zero.30
- Figura 20: Análise das mantas de algodão obtidas na fábrica de MDF. 1: aplicada 3 gotas do reagente; 2: aplicada 6 a 10 gotas de reagente; 3: aplicado 10 a 15 gotas de reagente; A: manta de algodão da fábrica; B: algodão puro usado como zero.....31
- Figura 21: Análise da manta de algodão obtida no sistema fechado, em laboratório. A: manta de algodão do sistema após utilização do indicador sem perder a nebulosidade; B: algodão puro usado como zero.32
- Figura 22: Análise da volatilidade do formaldeído nas mantas de algodão. 1: após 24 horas; 2: após 72 horas; 3: após 20 dias; A: algodão exposto ao ambiente; B: algodão seco na estuda; C: algodão puro usado como zero.33

1. INTRODUÇÃO

O ar constitui um elemento indispensável à vida e, por essa razão, precisa ser de qualidade, já que é combustível para todos os seres vivos existentes no planeta. Embora possua peso e ocupe espaço na atmosfera, o ar é conjunto de substâncias que não apresenta cor, cheiro, gosto e que não pode ser visto e tocado, mas pode ser sentido. É uma mistura homogênea de gases, dos quais o nitrogênio, oxigênio e a água estão presente em maior porcentagem (78%, 21% e 4%, respectivamente) (INMETRO, 2013).

De acordo com Koistinen *et al.* (2008), para a qualidade do ar exterior são amplamente utilizados diretrizes e normas de gestão de qualidade, por outro lado essa mesma sistemática com base científica está faltando para a qualidade do interior (QAI). Ainda, segundo o autor, as abordagens para uma gestão da QAI requerem métodos diferentes das que vigoram para o ar exterior.

A importância em saber a QAI no ambiente está relacionada com a exposição em que as pessoas estão submetidas, não sendo só uma questão relativa de Saúde Pública, mas como também a respeito à Saúde Operacional, pois a má qualidade pode provocar efeitos adversos na saúde humana, sendo os principais sintomas irritação dos olhos, nariz, pele e garganta, dores de cabeça, fadiga, falta de concentração, náuseas, entre outros (INMETRO, 2013). Diante desse contexto, fica evidente que a exposição à um ambiente inadequado à ocupação, pode ocasionar problemas na atividade operacional como alta taxa de absenteísmo (trabalhador que falta ao trabalho), redução na produtividade e na qualidade de vida do trabalhador (INMETRO, 2013).

A Organização Mundial de Saúde (OMS) e o Banco Mundial estimam que quatro milhões de pessoas com doença respiratória cancerígena (DRC) podem ter morrido prematuramente em 2005 e as projeções são de aumento considerável do número de mortes no futuro devido a qualidade do ar no interior de residências, escolas, escritórios, fabricas e demais ambiente onde as pessoas passam uma grande parte do tempo.

A contaminação do ar no ambiente interno é responsável pelos grupos de Compostos Orgânicos Voláteis (COVs), São definidos como COVs os compostos orgânicos cuja pressão de vapor a 20 °C é inferior à pressão atmosférica normal ($1,013 \times 10^5$ Pa) e maior do que 130 Pa, Hester (1995), exemplos de COV são o

formaldeído, clorobenzeno, benzeno, tolueno, xileno, acetona, percloroetileno ou acetato de etilo. O índice de concentração de COVs são elevados na construção civil, principalmente em edifício novos ou recém-reformados (BREGINSKI, 2015). Ainda segundo o autor, a principal fonte desses compostos são materiais de construção, e de decoração, principalmente madeiras compostas, tintas, vernizes e mobiliário. Segundo Coelho (2009) as principais causadoras de danos ambientais são as indústrias químicas. Estas são responsáveis por causar impactos de diferentes tipos e intensidades ao meio ambiente. O setor das indústrias químicas, uma das matérias-primas de grande uso e que merece destaque em virtude de seu potencial poluidor é o formol. O formaldeído quando em solução aquosa, é um gás incolor, solúvel na água e que reage rapidamente com o local de contato (INDUKERN, 2008).

O formaldeído é um dos poluentes de ambientes interiores mais estudados, sendo classificado no Grupo 1 (substâncias cancerígenas ao ser humano), pela Agência Internacional para Pesquisa Sobre o Câncer (IARC, 2012).

Resinas à base de formaldeído são componentes utilizados nas indústrias produtoras de placas de *Medium Density Fiberboard* (MDF), sendo amplamente empregados na construção de móveis e painéis decorativos.

Existe uma preocupação quanto ao uso de formaldeído nas resinas empregadas na confecção de MDF e os riscos de saúde envolvidos. Por esse motivo há pesquisas em andamento para o desenvolvimento de novas resinas menos nocivas, como por exemplo o uso do tanino. Algumas madeiras apresentam teor de polifenóis acima de 35% como o cerne do quebracho (*Schinopsis balansae* Eng.). No Brasil há uma grande disponibilidade de cascas da espécie de acácia negra (*Acacia mearnsii*), uma vez que, são removidas antes de qualquer processamento industrial (VITAL *et al*, 2004).

O formaldeído está presente em vários materiais de construção, vernizes e colas, tintas, produto base na fabricação de painéis, móveis, os quais podem liberar formaldeído na atmosfera por longos períodos (BREGINSKI, 2015).

O formol é utilizado em grande escala em diversas etapas de produção destes painéis, gerando emissões atmosféricas, além de outros resíduos. Esta emissão atmosférica além de ocorrer durante o processamento, ocorre durante o armazenamento dos painéis e é também emitida pelo produto pronto, como por exemplo, os móveis.

Existem alguns métodos para avaliação da presença do formaldeído atmosférico, como o método de análise por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), o tubo de gás colorimétrico, e ainda o monitor eletroquímico. Segundo Mariano *et al.* (2010), o desenvolvimento de um sensor rápido, sensível e de baixo custo, que pode detectar uma vasta gama de concentrações de formaldeído é um desafio importante e significativo. Com o presente trabalho espera-se que o desenvolvimento de um protótipo de baixo custo seja capaz de capturar e fixar o formaldeído presente no ar atmosférico em uma manta de algodão.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Idealizar e confeccionar um protótipo experimental para coleta automática do ar, contendo formaldeído no interior de uma fábrica de painéis.

2.2 Objetivos específicos

- Confeccionar um aparelho para capturar o formaldeído do ar atmosférico e mantê-lo em manta de algodão seco;
- Instalar o aparelho desenvolvido no LABPA e na fábrica de painéis a base de fibras;
- Coletar as amostras em horários previamente definidos;
- Realizar análise laboratorial da manta de filtro de algodão por metodologias de detecção com reagente grafe.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 *Medium Density Fiberboard* (MDF)

A indústria de painéis de madeira é de suma importância para a economia brasileira, representando 2,6% (300 milhões de dólares) por ano das exportações do setor industrial madeireiro do país, sobretudo pela dinâmica de novas tecnologias associada à geração de renda e emprego nos setores moveleiro e da construção civil, sendo este, o de maior crescimento atualmente no país (IBA, 2020).

De acordo com a Indústria Brasileira de Árvores (IBA, 2020) mesmo diante de um cenário de desaceleração econômica mundial e tímido crescimento do consumo das famílias brasileiras, o volume de vendas domésticas de painéis de madeira subiu 3,9% em 2020, na esteira do aumento por consumo de itens que proporcionassem um ambiente de trabalho adequado dentro de casa. O volume de painéis de madeira foi de 7,1 milhões de metros cúbicos no ano, com as vendas de *Medium Density Fiberboard* (MDF) e *Medium Density Particleboard* (MDP) totalizando 4,3 e 2,9 de milhões de m³, um aumento de 2,8% e 9,2%, respectivamente, (IBA, 2021).

No Brasil, das 25 principais empresas produtoras de painéis de madeira reconstituída do país, 22 (88,0%) delas estão nas regiões Sul e Sudeste. As indústrias de painéis de madeira estão concentradas principalmente na região Sul do país, devido a privilegiada localização próximo aos maiores polos moveleiros do Brasil, sendo esse, um dos grandes motivos pelo qual das 15 indústrias de MDF no país, 9 estão distribuídas na região Sul (Figura 1).

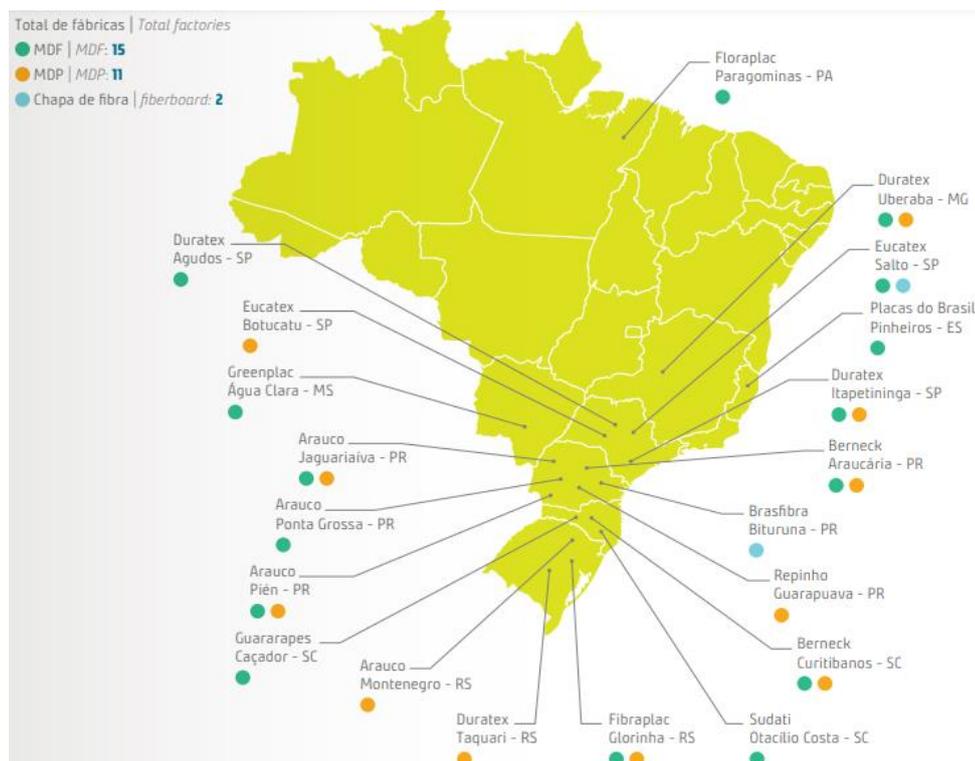


Figura 1: Localização ilustrativa das indústrias de painéis (MDP, MDF e Chapa de Fibra) no Brasil.

Fonte: IBA (2020).

O MDF é caracterizado por possuir consistência e algumas propriedades mecânicas que se aproximam às da madeira maciça. A maioria de seus parâmetros físicos de resistência são superiores aos da madeira aglomerada, caracterizando-se, também, por possuir boa estabilidade dimensional e grande capacidade de usinagem.

Os principais adesivos empregados na fabricação de painéis à base de madeira são os adesivos sintéticos, destacando-se o fenol-formaldeído, o resorcinol-formaldeído, a ureia-formaldeído e a melamina-formaldeído. Estes quatro, são resinas que compõem, aproximadamente, 90% de todas as resinas adesivas em painéis de madeira, sendo todas elas derivados de combustíveis fósseis.

O fenol e o resorcinol são derivados do benzeno, que é sintetizado a óleo, e a ureia, a melamina e o formaldeído são todos derivados do petróleo. Apresentam como principais propriedades sua resistência à umidade e imunidade ao ataque de microrganismos. Devido a estas propriedades, essas resinas são amplamente empregadas nas 32 indústrias de painéis de madeira do país.

3.2 Dados econômicos dos painéis reconstituídos

Nos últimos 10 anos houve um crescimento na produção mundial de MDF e HDF (*High Density Fiberboard*) em todo o mundo, a produção passou de 71,2 milhões de m³ em 2010 para 104,1 milhões de m³ em 2020. Devido a pandemia em 2020 a produção mundial de MDF e HDF apresentou uma queda de 1,2 milhões de m³ referente ao ano anterior (Figura 2- FAO 2021).

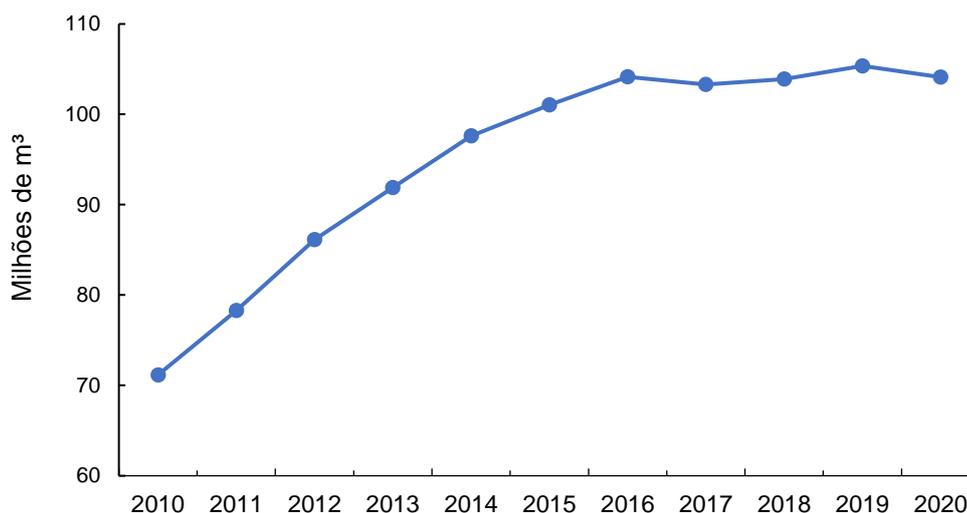


Figura 2: Representação da quantidade de painéis de fibras produzidas no mundo (MDF e HDF).

Fonte: Adaptado e extraído de FAOSTAT (2021).

Na figura 3, estão apresentados os dez principais países produtores de MDF e HDF, juntos representam 75% da produção mundial, cerca de 78,6 milhões de m³. A China é o maior produtor e responde por 47,79% do total mundial. A seguir vem Brasil (4,33%), a Turquia (4,14%), Alemanha (3,99%) e Tailândia (3,18) (FAO, 2021).

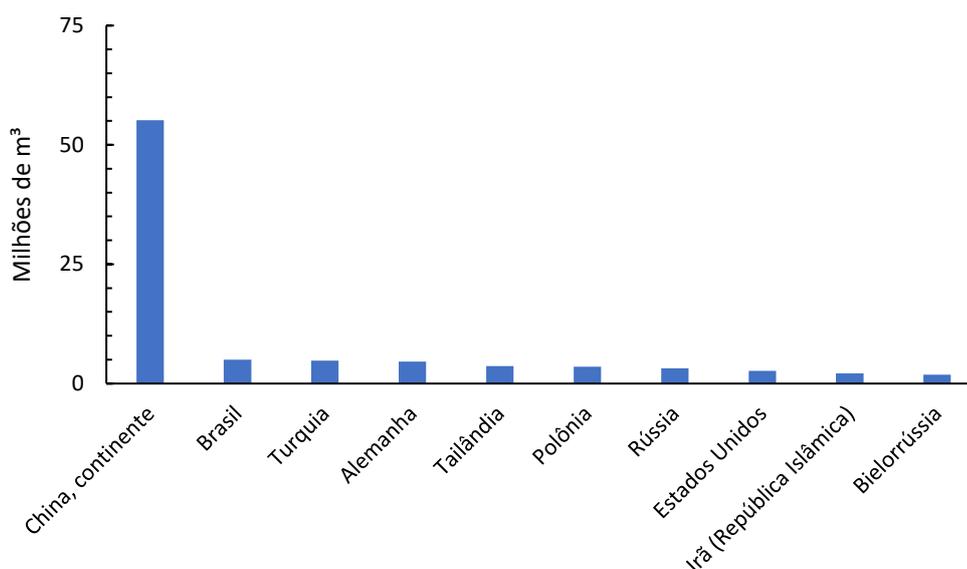


Figura 3: Representação dos dez maiores países produtores de MDF e HDF no mundo.

Fonte: Adaptado e extraído de FAOSTAT (2021).

Em 2010 a produção brasileira foi de 3,03 milhões de m³ e nos últimos 10 anos atingiu uma média de produção de 4,08 milhões de m³, um aumento percentual de 34,6% (Figura 4).

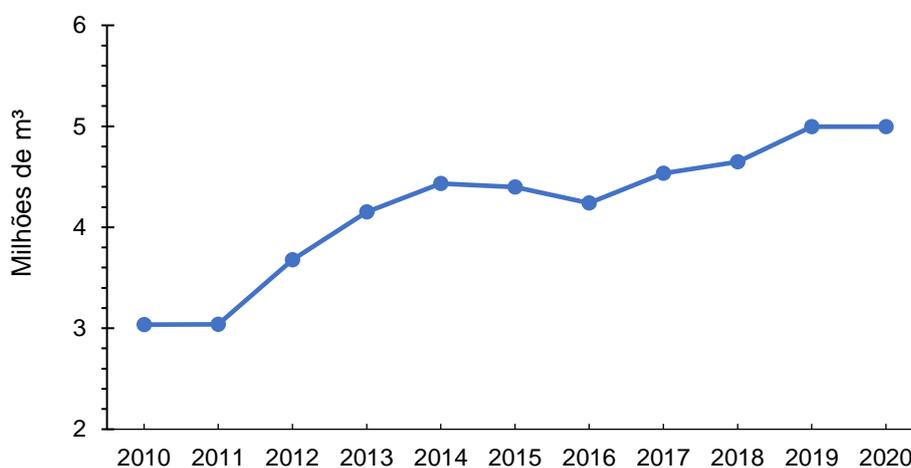


Figura 4: Representação da produção de painéis MDF e HDF no Brasil nos últimos 10 anos.

Fonte: Adaptado e extraído de FAOSTAT (2021).

Segundo Vidal e Hora (2014) esse crescimento da produção é algo gradual, onde passou de 5% do consumo mundial em 1995 para 26% em 2012. Para Eisfeld e Berger (2012) esse crescimento da produção brasileira ocorreu pelo aumento do consumo do MDF nos últimos anos, em contrapartida ao decréscimo do consumo de

compensado e madeira maciça. Além disso, segundo Colodette *et al.* (2014), o maior crescimento em produtos de madeira no Brasil é dos painéis industrializados de MDF, MDP e Oriented Strand Board (OSB) de eucalipto, principalmente graças à boa performance do setor de construção civil na última década.

A Ásia e Europa representam 85% da exportação mundial de MDF e HDF, em decorrência do preço aplicado no mercado Asiático e a alta qualidade do produto europeu (FAO, 2021). A FAO (2021) traz em seu relatório que dentre os maiores exportadores mundiais destacam-se a Alemanha, com mais de 2,9 milhões de m³, seguido pela China com cerca de 2,4 milhões de m³ e Tailândia, superior a 1,6 milhões de m³ (Figura 5).

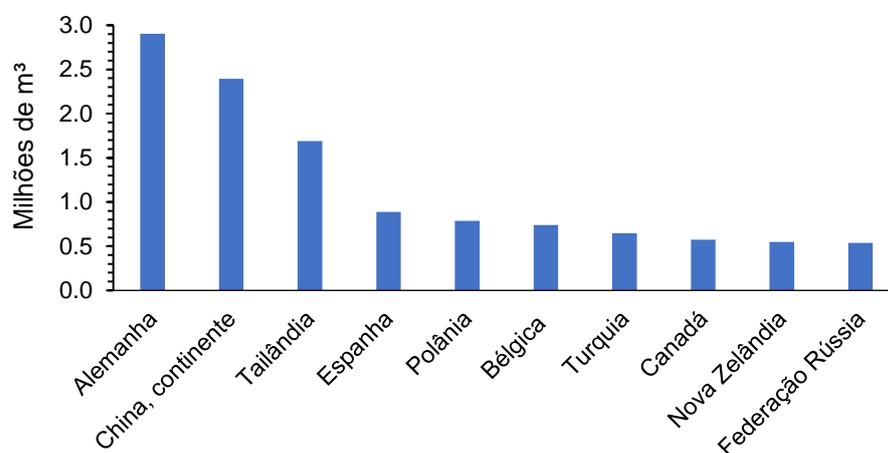


Figura 5: Representação dos 10 principais países exportadores de painéis MDF e HDF.

Fonte: Adaptado e extraído de FAOSTAT (2021).

Entre os exportadores principais de painéis de madeira de MDF e HDF, o Brasil não se encontra, exportando pouco mais de 630,5 mil m³. Os principais mercados de exportação dos painéis de madeira fabricados no Brasil são os Estados Unidos, México, Colômbia, Peru e Bolívia (IBA, 2020), (Figura 6).

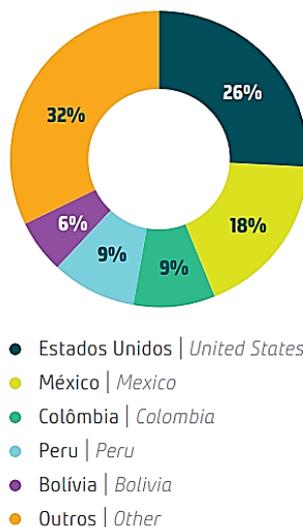


Figura 6: Representação dos principais destinos das exportações dos painéis de madeira produzidos no Brasil.

Fonte: IBA (2020).

Merecem destaque nas importações de MDF e HDF, nos últimos 10 anos, a Europa com 42,3% do total, seguido pelo continente asiático com 32,1% (FAO, 2021). A elevada porcentagem de importação da Ásia se dá muito por conta da China. Com a necessidade de o continente asiático pelo material oriundo da madeira ser elevada, em virtude de vários países do continente não obterem do produto em seus territórios, e assim, acabam tendo que recorrer a importação do desejado material (FAO, 2021). Na Figura 7 ilustra a importação mundial de MDF e HDF decorrente dos principais países dentro do ramo, apresentando grande destaque para os EUA.

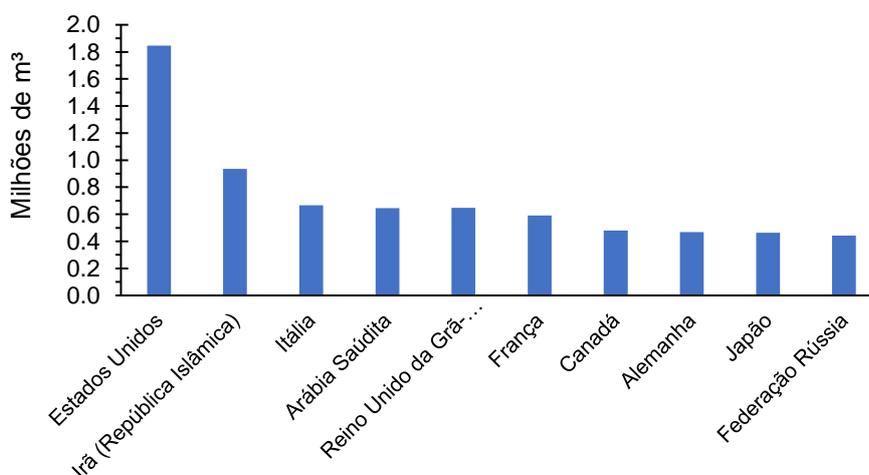


Figura 7: Representação dos 10 principais países importadores de painéis de MDF e HDF no mundo.

Fonte: Adaptado e extraído de FAOSTAT (2021).

Na última década, a importação de brasileira de painéis MDF e HDF apresentou uma queda acentuada principalmente entre 2011 e 2015 (Figura 8), o que se explica pelo aumento de produção interna no mesmo período (Figura 4).

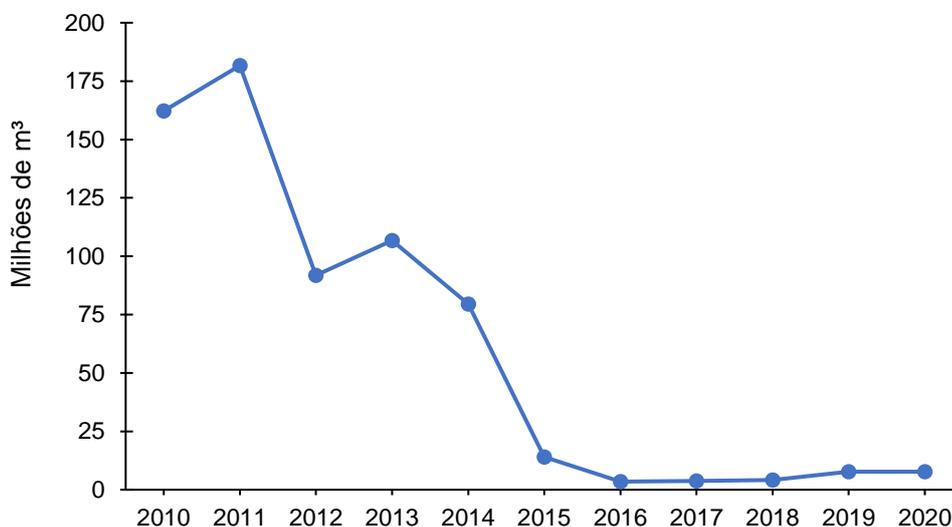


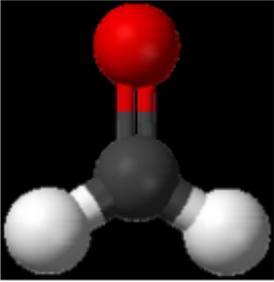
Figura 8: Representação quantitativa da importação de MDF / HDF realizada pelo Brasil entre os anos de 2010 e 2020.

Fonte: Adaptado e extraído de FAOSTAT (2021).

3.3 O Formaldeído

O formaldeído foi descoberto em 1867 pelo químico alemão August Wilhelm von Hofmann, o formaldeído é o aldeído mais abundante na natureza, de fórmula molecular simples ($H_2-C=O$) (Quadro 1). Também conhecido como metanol segundo a IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*), e de sinonímia formol, esse composto é um gás incolor inflamável altamente reativo à temperatura ambiente. O mesmo pode ser obtido comercialmente como solução aquosa a 30-50% (m/m), conhecida por formalina (COELHO, 2009).

Quadro 1: Características gerais do formaldeído

<p style="text-align: center;">Estrutura Molecular – CH₂O</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> $\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \end{array}$ </div> </div>	<p>Massa Molar: 30,03 g/mol</p> <p>Registro no CAS: 50-00-0</p> <p>Nome químico: Formaldeído</p> <p>Nome IUPAC: Metanal</p> <p>Apresentação: Gás incolor com odor sufocante</p> <p>Forma líquida: Formalina ou formol (37% em água)</p> <p>Forma sólida: Paraformaldeído</p>
--	--

Fonte: Adaptado e extraído de IARC, 2006; Formaldehyde, 2016; NIH, 2018.

O formol é um produto químico orgânico. Ele por sua vez é o composto mais simples da família dos aldeídos, sendo encontrado facilmente na natureza (GRANDINI, 2014). As propriedades químicas e físicas estão descritas no Quadro 2.

Quadro 2: Propriedades química e físicas do formol

Densidade do vapor (g/m ³)	1,075
Densidade relativa (g/m ³)	1,060 a 1,140 a 25%
Ponto de ebulição (°C)	96 a 100
Ponto de fulgor (vaso fechado) (°C)	80
Ponto de congelamento (°C)	- 92
Viscosidade (cP)	2,5 a 25°C (37% de formaldeído) 1,81 a 60°C (50% de formaldeído)
Potencial Hidrogeniônico (pH)	2,5 a 4
Calor específico (cal/g/°C)	0,8 (37% de formaldeído)

Fonte: INDUKERN, 2008.

O formaldeído exógeno pode ser obtido a partir da oxidação catalítica do metanol (CH₄O) derivado de combustíveis fósseis, biomassa, emissões de gases de plantas e até mesmo do CO₂ da atmosfera (SANHOOB *et al.*, 2012).

Este pode ser encontrado em pequenas quantidades em frutas e em alguns alimentos e, durante o cozimento de alguns alimentos, pode ser liberado para o ambiente (IARC, 2012). A forma endógena do formaldeído é produzida pelos

mamíferos em consequência do metabolismo oxidativo, como pela oxidação do metanol (FORMALDEHYDE, 2016; IARC, 2012; TULPULÉ *et al.*, 2013).

De acordo com Schirmer *et al.* (2011), o composto orgânico volátil (COV) mais encontrado em ambientes internos é o formaldeído, citado até por alguns autores como um dos mais importantes Pereira *et al.* (2001), diz que o formaldeído representa cerca de 60% dos aldeídos encontrados em ambientes fechados.

De acordo com a descrição de Campos e Lahr (2004), os adesivos podem ser classificados a partir de diferentes parâmetros, tais como: origem dos componentes primários, temperatura de cura, resistência à umidade, composição química e entre outros, sendo as resinas a base de formaldeído classificadas dentro do grupo dos termofixos.

Os termofixos são aqueles adesivos que endurecem por meio de reações químicas ativadas pela temperatura ou catalisadores. São resistentes à umidade e ao calor. Dentre os principais adesivos pode-se destacar: o fenol-formaldeído, a ureia-formaldeído, o resorcinol formaldeído e os poliuretanos (CAMPOS e LAHR, 2004).

A comercialização do formaldeído puro não existe, pois ele possui rápida polimerização, assim, comercialmente é uma mistura 30% a 56% de formaldeído e metanol (6% a 15%) (VERONEZ *et al.*, 2006). Os autores afirmam também que o formaldeído está presente no ambiente externo devido a foto-oxidação de metano e outros compostos orgânicos como o produto gerado pelo metabolismo das plantas que ocorre naturalmente.

O formaldeído é um importante composto químico industrial, usado em mais de cinquenta ramos industriais em diferentes formas de solução aquosa e resinas (FRANZ *et al.*, 2016). De acordo com Alves e Aciole (2012), é utilizado em resinas sintéticas uréicas, fenólicas e melamínicas nas indústrias de madeira laminada colada (MLC), madeira laminada cruzada (CLT), papel e celulose, painéis de madeira reconstituída, em abrasivos, plásticos, esmaltes sintéticos, vernizes e tintas, isolantes elétricos, indústrias têxteis em carpetes e entre outros.

A produção de resinas de ureia, fenol e melamina-formaldeído (resinas UF, PF e MF), foi responsável por quase 70% do consumo mundial de formaldeído em 2017. O formaldeído é geralmente produzido próximo ao ponto de consumo, uma vez que, é bastante fácil de fazer, mas é caro para transportar e pode desenvolver problemas associados à estabilidade durante o transporte (IHS MARKIT LTD, 2019).

Como resultado, o comércio mundial de formaldeído é mínimo. A Figura 9 ilustra o consumo mundial de formaldeído em 2019 em algumas regiões do mundo.

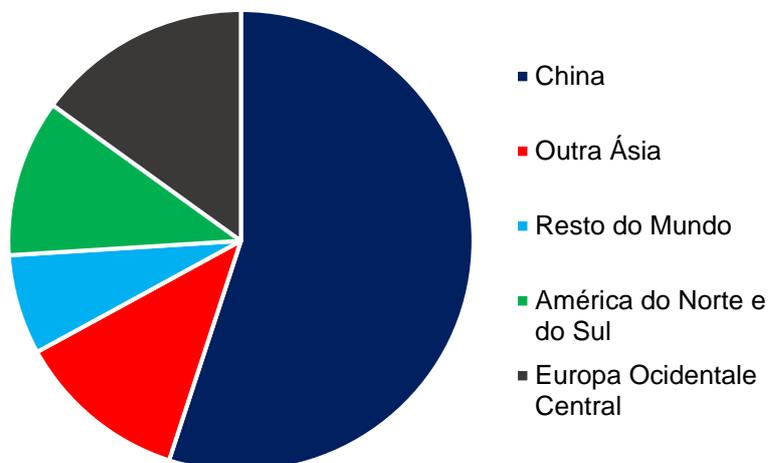


Figura 9: Representação do consumo de formaldeído no mundo no ano de 2019.

Fonte: Adaptado e extraído de IHS MARKIT LTD, 2019.

No Brasil, somente a partir do ano 2000 é que o formaldeído começou a ser utilizado intensamente nas formulações de produtos para alisamento e redução de volume dos fios de cabelo e em ambientes ocupacionais como indústrias, laboratórios e hospitais ou outros ambientes que manipulam diretamente o formaldeído (INCA, 2021). Uma breve visão geral da utilização industrial do formaldeído é fornecida na Figura 10:

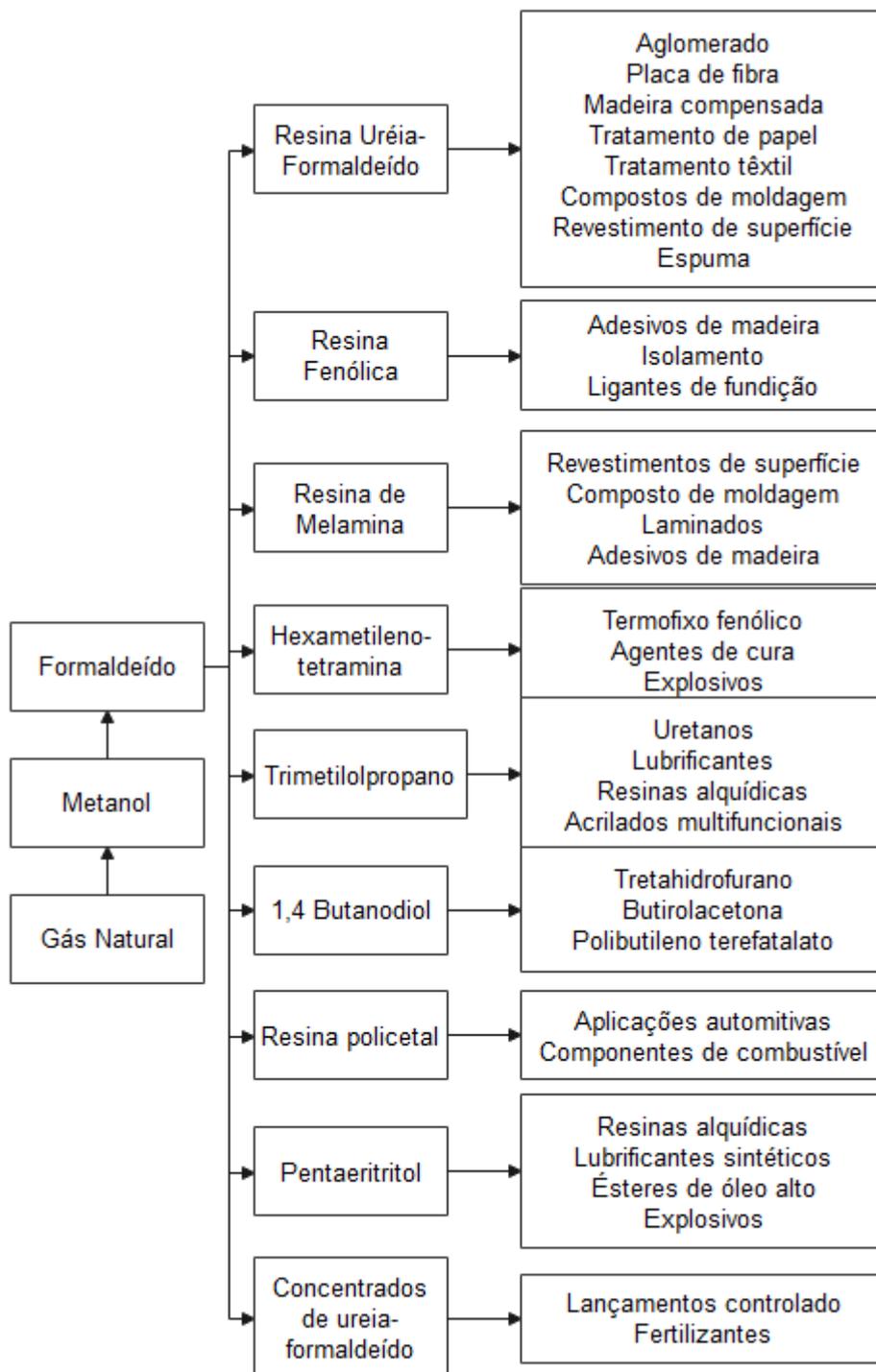


Figura 10: Levantamento das aplicações industriais do formaldeído e seus produtos derivados.

Fonte: Adaptado e extraído de Salthammer, 2010.

3.4 Exposição, danos à saúde humana e ao ambiente natural

O formol é considerado pela Organização Mundial de Saúde (OMS) uma substância cancerígena para humanos, onde é classificada no grupo 1, ou seja, com fortes evidências de carcinogênese em humanos e em animais (INCA, 2021). Foram encontradas evidências suficientes para o risco de desenvolvimento de câncer de

nasofaringe e leucemias e dados em bioensaios de animais para os cânceres de cavidade nasal e de seios paranasais, pulmão e outros cânceres hematológicos (IARC, 2012).

A presença de formaldeído no ambiente é causada por algumas fontes poluentes do ar, entre as principais fontes estão os processos de combustão, tais como: usinas/centrais elétricas, refinarias, emissões de veículos motores, fogões a lenhas e da fumaça de tabacos (IARC 2012; NIH, 2018). No ar o formaldeído rapidamente se degrada a partir de processos fotoquímicos, de precipitação e biodegradação (NTP, 2010). A IARC (2012) informa que no ar exterior as concentrações de formaldeído geralmente são inferiores a $0,02 \text{ mg/m}^3$ em ambientes urbanos e $0,001 \text{ mg/m}^3$ em áreas despovoadas.

Como mencionado, no ambiente interno é comum encontrar o formaldeído no ar. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), a qualidade do ar interior para formaldeído seria em valores inferiores a $0,1 \text{ mg/m}^3$ (período de 30 minutos) para efeitos de curto prazo (ex. irritação nos olhos, nariz, mucosas e trato respiratório superior) e de longo prazo (ex. câncer nasofaringe e leucemias) (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2010).

Nielsen *et al.* (2010), em seus estudos mostraram que nos países industrializados, as concentrações encontradas são aceitáveis e variam de 5 a $60 \text{ } \mu\text{g/m}^3$, enquanto, em países asiáticos, como a China, as concentrações são mais elevadas ($< 300 \text{ } \mu\text{g/m}^3$). No Brasil, os níveis de formaldeído variam nos ambientes internos com concentrações médias de 2,2 a $105,7 \text{ } \mu\text{g/m}^3$.

Exposições ocupacionais em níveis acima de 1 ppm ($1,23 \text{ mg/m}^3$, 1 atm e 25°C) ocorrem principalmente na fabricação de resinas, de plásticos de tecidos, de papel e celulose; fundições, indústria de construção; laboratório de anatomia e serviço de embalsamento.

A concentração da dissipação do formol na atmosfera é expressa em “partes por milhão” (ppm), sendo que 1 ppm corresponde a $1,248 \text{ mg/m}^3$ (VERONEZ *et al.*, 2006). Ainda segundo o mesmo autor, no ano de 1987 a Associação de Saúde e Segurança Ocupacional (OSHA), estabeleceu uma normatização para a utilização do formaldeído. Essa classificação, menciona que para um período de 8 horas de exposição ao formol, o limite máximo é de 0,75 ppm e a tolerância para um período de 15 minutos foi firmado um limite de 2 ppm, em seus estudos apresenta alguns

efeitos que são causados a pessoas quando exposto a pequenas concentrações de formol no ar (Quadro 3).

Quadro 3: Efeitos do formol em baixas concentrações no ar sobre o ser humano

Sistema orgânico ou órgão	Concentração em ppm*	Efeito
Sistema respiratório	Acima de 0,1ppm	Exposições leves: tosse, irritação do trato respiratório, e espasmos na laringe.
	Acima de 20ppm	Exposições graves podem causar bronquite asmática, edema pulmonar e pneumonia.
	Acima de 50ppm	Casos severos ocasionam apatia, perda de peso e consciência, coma e óbito.
Olhos	De 0,1 a 2ppm	Irritação da conjuntiva ocular, lacrimejamento, dor imediata e inflamação “Borramento” da visão. Risco de reação alérgica e conjuntivite.
	Acima de 2ppm	Casos severos: danos a córnea, íris e pálpebras com perda de visão. Agressão a retina e ao nervo óptico.
Pele e anexos	Acima de 0,1ppm	Irritação e ressecamento da pele, aparecimento de fissuras, vermelhidão, alteração na tonalidade das unhas, dermatite por contato e necrose da epiderme podendo piorar com o calor e o suor.
Sistema Imunológico	Acima de 0,1ppm	Hipersensibilidde, dermatites alérgicas e bronquite asmática.
Todos os sistemas orgânicos	Convivência ocupacional	Potencial agente carcinogênico e tumorogênico.

Fonte: Adaptado e extraído VERONEZ *et al.*, 2006. *: ppm: partes por milhão.

O formaldeído é um dos compostos responsáveis pela “Síndrome do Edifício Doente”, caracterizada por ambientes fechados e sem a ventilação necessária, interferindo na qualidade do ar e saúde dos frequentadores do local. Esta contaminação pode ocasionar reações como ardência nos olhos e tosse, crises de asma e rinite, afetando a saúde e a qualidade de vida. No mundo, os tumores sólidos, como o de pulmão, são os tipos mais incidentes e as principais causas de morte por câncer em homens e mulheres, respectivamente (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2017).

4. METODOLOGIAS DE MEDIÇÃO ATMOSFÉRICA

No estudo de Lacava (2014) é mencionado, que o monitoramento da poluição atmosférica envolve medir a poluição nas escalas no tempo e no espaço. Os poluentes prioritários são identificados e a escolha do equipamento de medição (monitores) deve ser capaz de garantir que os dados gerados atendam aos objetivos do monitoramento, e que eles possam ser comparados com os padrões legais da qualidade de ar permitida. Existem diferentes metodologias e diferentes tipos de monitores podem ser utilizados.

Para a escolha de monitor de poluição deve ser levado em consideração alguns parâmetros como os recursos necessários para aquisição, operação e manutenção dos equipamentos.

Na atualidade, os equipamentos de monitoramento da poluição atmosférica podem ser divididos em quatro tipos, dependendo da metodologia empregada:

- **Amostradores passivos:** a amostra é obtida por difusão molecular, mediante um equipamento (tubo ou amostrador passivo) que utiliza um filtro com material absorvente para um poluente específico exposto às concentrações ambientais, que posteriormente é analisado em laboratório.
- **Amostradores ativos:** nos amostradores ativos, um certo volume de ar é sugado por uma bomba e passa através de um meio coletor químico ou físico por um determinado período (tipicamente, 24 horas). A coleta pode ser feita por processo de absorção, adsorção, filtração, difusão. Reação ou por uma combinação de dois ou mais desses processos. Posteriormente as amostras são analisadas em laboratórios.
- **Analisadores automáticos:** fornece medidas com resolução temporal relativamente alta, normalmente médias de 30 a 60 minutos, utilizam princípios eletro-ópticos. A amostra de ar entra em uma câmara de reação onde a propriedade óptica do gás pode ser medida diretamente, ou uma reação química ocorre produzindo quimiluminescência ou luz fluorescente
- **Sensores remotos:** os sensores remotos fornecem informações de concentrações de poluentes em ponto do espaço mais distantes do equipamento, por meio de técnicas de espectroscopia.

As principais vantagens e desvantagens no uso de cada um dos tipos de equipamentos são apresentados no Quadro 4.

Quadro 4: Vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de equipamentos para medição de poluição do ar

Equipamentos	Vantagens	Desvantagens
Amostradores passivos	<ul style="list-style-type: none"> - Custo muito baixo - Muito simples de operar - Não depende de energia elétrica - Pode ser utilizado em grande número - Muito útil para mapeamento espacial da poluição 	<ul style="list-style-type: none"> - Inexistente para alguns poluentes - Em geral fornece somente médias mensais ou semanais - Exige trabalho de desenvolvimento e análise - Resultados medidos não imediatos
Amostradores ativos	<ul style="list-style-type: none"> - Baixo custo - Fácil operação - Dados confiáveis - Banco de dados histórico 	<ul style="list-style-type: none"> - Fornece somente médias diárias, e não horárias - Exige coleta e análise em laboratório
Analisadores automáticos	<ul style="list-style-type: none"> - Variedade de poluentes - Alta eficiência - Dados horários - Informações <i>on-line</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Complexos - Alto custo - Exige especialização - Altos custos de manutenção
Sensores remotos	<ul style="list-style-type: none"> - Dados integrados espacialmente - Bastante útil para medir poluição de fontes específicas - Medidas para vários poluentes - Medidas integradas horizontal e verticalmente na atmosfera 	<ul style="list-style-type: none"> - Muito complexos e caros - Operação, calibração e validação por vezes difíceis - Resultados não diretamente comparáveis com as medidas pontuais - Interferência das condições atmosféricas

Fonte: Extraído e adaptado da WHO (1991).

Segundo Lacava (2014) muito dos objetivos de monitoramento de poluição atmosférica podem ser atendidas com amostradores passivos ou ativos, com resoluções temporais e espaciais.

Os analisadores automáticos possuem alto custo financeiro, além de exigir uma estrutura operacional, é utilizada quando há necessidade de monitoramento por períodos longos (acima de cinco anos). Os sensores remotos são onerosos e complexos, porém, muito utilizados, pois, possibilitam a medição de vários poluentes com o mesmo equipamento.

4.1 Metodologias de análises de formaldeído em painéis reconstituídos

Para pré-teste e controle de produção, os chamados métodos derivados foram desenvolvidos. Esses métodos são baseados na determinação do teor de formaldeído ou liberação de formaldeído sob condições de testes especiais. Vários métodos derivados estão disponíveis para painéis à base de madeira em particular (Tabela 1).

Tabela 1: Métodos padrão para teste de emissão de formaldeído

Método	Padrão normativo	Volume	Fonte
Dessecador	D 5582	≈ 10,5 L ^a	ASTM (2006)
	JA 1460	9-11 L	JIS (2001)
	JAS ^b	9-11 L	^c JAS (2003)
Análise de gás	EN 717-2	Câmara de 4 L	ECS (1994)
Frasco	EN 717-3	Frasco de 500 mL	ECS (1996)
Perforator	EN 120		EM (1992)
Câmara	717-1	12 m ³ , 1 m ³ , 0,225 m ³	ECS (2004)
	A 1901	20 L a 1 m ³	JIS (2003)
	A 1911	> 1 m ³ a 80 m ³	JIS (2006)
	E 1333	> 22 m ³	ASTM (1996)
	D 6007	1 m ³	ASTM (2002)

^aO diâmetro interno é 250 mm. ^bJAS Não depende do produto. ^cRefere-se a JAS 233 para madeira de compensado.

Fonte: Extraído e adaptado de Salthammer (2010).

4.1.1 Método do dessecador

Os chamados métodos dessecadores (ASTM, 20; JI14S, 2001) baseiam-se nos mesmos princípios do método do frasco. Amostras de painel à base de madeira de área de superfície conhecida são posicionados acima de uma lâmina de água por 24 horas a uma temperatura constante. Em vez de uma pequena garrafa de plástico, um dessecador de vidro com um volume de 9-13 L é usado, permitindo assim maiores quantidades de material de teste. A análise do formaldeído é geralmente realizada pelo método da acetilacetona (JIS A1460, 2001) ou pelo método do ácido cromotrópico (ASTM 2014).

4.1.2 Método da análise de gás

Esta metodologia avalia liberação acelerada de formaldeído a uma temperatura elevada de 60°C. Pode ser usado para todos os tipos de painéis, incluindo placas revestidas. Também é usado para testar papéis impregnados que

emitem formaldeído, laminados e espumas de isolamento. O método requer uma amostra de 400 mm x 50 mm, e espessura variável, a qual é disposta em um tubo de ensaio a uma temperatura controlada de 60°C. Uma corrente de gás de 1 L/min é passada pelo tubo. O formaldeído emitido é absorvido por garrafas de lavagem de gás e medido fotometricamente. Os frascos são substituídos a cada hora ao longo de um tempo total de teste de 4 horas. Normalmente, os valores medidos são calculados, ignorando a primeira hora. O resultado é expresso em $\text{mg}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$. Este procedimento é padronizado como EN 717-2 (CEN, 1995).

4.1.3 Método do frasco

O teste baseia-se no armazenamento de uma a três peças de painel com massa total próxima a 20g em frasco fechado de polietileno com volume de 400 cm^3 . As peças são armazenadas em 50mL de água destilada por um período definido, geralmente 24 horas a uma temperatura constante de 40°C. O formaldeído liberado é absorvido pela água. O teor de formaldeído da solução aquosa é determinado fotometricamente a 412 nm pelo método da acetilacetona e referido ao peso seco das peças testadas. O método é padronizado por meio da norma EN 717-3 (CEN, 1996). As desvantagens do método são a pequena quantidade de material que pode ser testado e a proporção irreal de bordas abertas para superfícies dos espécimes testados. Apesar dessas limitações, o método é mais adequado para o controle da produção de painéis com estrutura semelhante.

4.1.4 Método do *perforator*

O teor de formaldeído dos painéis à base de madeira é determinado pelo método do *perforator*. O conteúdo se correlaciona principalmente com o valor de emissão, especialmente para compósitos de madeira de estrutura e densidade semelhantes. O método foi desenvolvido no final dos anos 1960 pela *antiga European Particleboard Federation* -FESYP. Desde 1984, foi estabelecido como norma europeia EN 120. É um procedimento para extrair pequenas amostras de painéis de madeira por meio da fervura de tolueno e é adequado para painéis de madeira não laminados e não revestidos.

O formaldeído é amostrado no meio aquoso por um procedimento analítico adequado. O método original com iodo mostrou-se muito inespecífico e foi posteriormente substituído pelo método da acetilacetona e tolueno. O valor do perfurador depende do teor de umidade das amostras testadas. Fatores de correção,

com base em um teor de umidade de referência, são usados para compensar essa influência. O procedimento de teste precisa de um equipamento comparativamente simples e tem um tempo de execução total curto de 3 horas. Por essas razões, é amplamente utilizado para controle de produção na indústria de painéis derivados de madeira, especialmente na Europa e na China.

5. METODOLOGIA

5.1 Desenvolvimento do protótipo de sucção de ar

O protótipo do medidor portátil do ar foi desenvolvido com os seguintes equipamentos:

- Um cooler de vento de 12 volts e 0,4 ampères, proveniente de gabinete de computador;
- Um tubo de cano plástico de 100 mm de diâmetro e 20 cm de comprimento;
- Uma manta de algodão, como filtro de ar;
- Uma fonte de alimentação de 12 volts;
- Cola de silicone (para vedação);
- Uma tela de 10 cm²;
- Tinta *spray* na cor preta.

O equipamento foi desenvolvido e montado no Laboratório de Painéis (LABPA) do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira.

Para a aferição do produto em campo industrial, foram montados seis protótipos com as mesmas características (Figuras 11, 12 e 13).

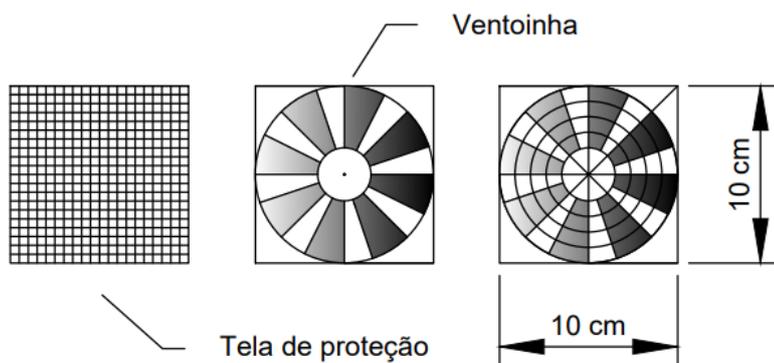


Figura 11: Detalhes da ventoinha (*coller*) utilizada na captura do ar atmosférico.
Fonte: O Autor (2022).

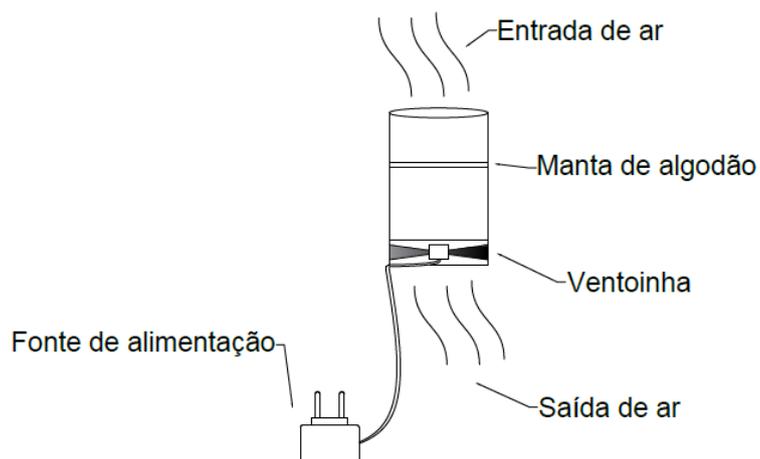


Figura 12: Croqui do protótipo desenvolvido.
Fonte: O Autor (2022).



Figura 13: Protótipo desmontado e pronto para ser instalado.
Fonte: O Autor (2022).

5.2 Local do experimento

O experimento foi realizado na empresa Placas do Brasil S/A, localizada no município de Pinheiros, norte do estado do Espírito Santo. A empresa ocupa uma área total de 665 mil m², com cerca de 200 mil m² de área construída e tendo uma capacidade de produção de 30 mil m²/mês de painéis naturais e 12 mil m²/mês de painéis de MDF revestidos (Figura 14).



Figura 14: Vista aérea da empresa Placas do Brasil S/A, Pinheiro, ES.
Fonte: Placas do Brasil S/A (acesso 2022).

Os protótipos foram instalados (dia 14/02/2022) em 5 pontos estratégicos na área industrial que foram definidos conjuntamente com a equipe técnica da empresa, quatro pontos dentro da fábrica próximo a prensa contínua e um no exterior na Estação de Tratamento de Efluente (ETE). O 1º ponto foi instalado na saída da prensa contínua ao lado esquerdo da mesma, o 2º ponto foi instalado na entrada da prensa contínua ao lado esquerdo, o 3º ponto foi instalado na entrada da prensa contínua no lado direito da prensa, o 4º ponto instalado na saída da prensa no lado direito da prensa como exposto na figura 15, e por fim o 5º ponto foi instalado no ambiente externo próximo a ETE.

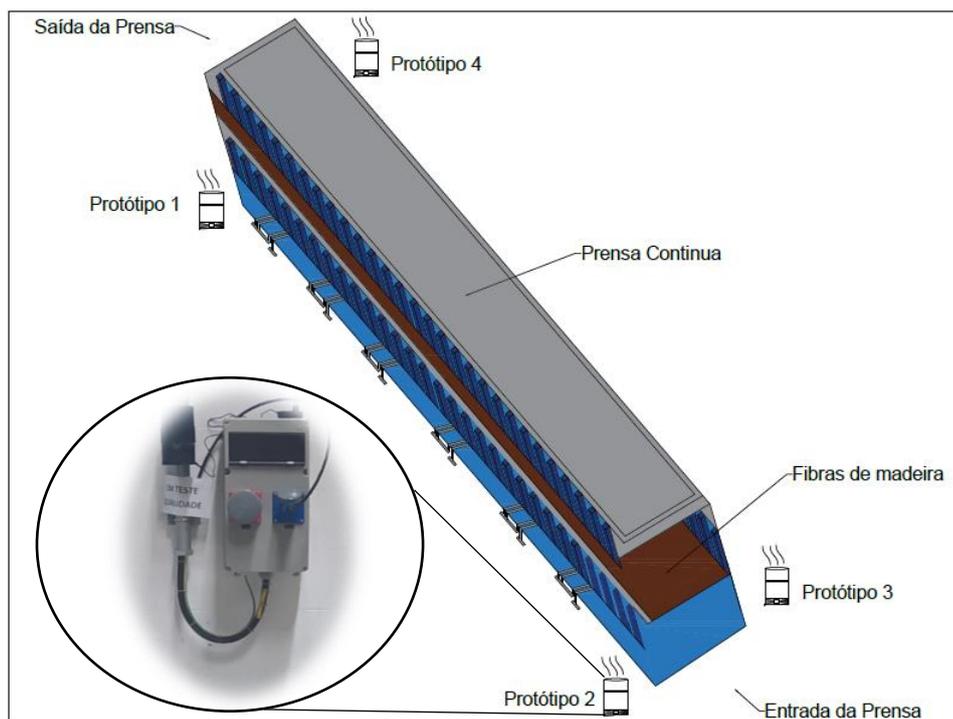


Figura 15: Ilustração dos locais de instalação dos protótipos ao longo da prensa e detalhe do mesmo próximo a fonte de alimentação de eletricidade.
Fonte: O Autor (2022).

Após serem instalados nos locais previamente definidos (Figura 15), as primeiras amostras foram coletadas a partir de 12 horas, definindo-se a primeira coleta às 19 horas do mesmo dia (14/08/2022). A partir desse dia, foram coletadas amostras durante 5 dias interruptamente. A cada doze horas de funcionamento as mantas de filtro de algodão foram substituídas.

Cinco repetições em cada ponto amostral para cada período (tempo - hora) foram analisados. Assim, obteve-se uma boa representatividade e precisão amostral. O material coletado (algodão) foi armazenado em pequenos sacos de polietileno, lacrados e conduzidos para o LABPA, visando sua análise. Antes de serem utilizadas no campo industrial, as mantas filtro de algodão, telas e sacos plásticos, foram submetidas a luz UV (ultravioleta) por 30 minutos para esterilização de qualquer tipo de contaminante que porventura pudessem vir a influenciar na análise futura (Figura 16).



Figura 16: Esterilização das mantas filtro de algodão em câmara de ultravioleta.
Fonte: O Autor (2022).

5.3 Análise da eficiência do protótipo

O primeiro teste do protótipo foi realizado com as mantas filtro de algodão coletadas próximo a prensa do LABPA no momento de sua utilização, após coletadas 10 mantas de algodão, elas foram submetidas a teste para análise da possibilidade de se identificar a presença de formaldeído nas mesmas.

A manta de algodão foi então colocada em contato com 50 ml água destilada visando a transferência de um possível formaldeído. Esse procedimento foi de 24 horas em frascos de vidro com tampa plástica hermeticamente fechada. Foram retiradas da solução obtida 2ml, sendo está colocada em contato com um reagente específico (Reagente de Grafe – 6 a 10 gotas da solução), que mudando de cor, atestaria a eficiência do protótipo de coleta de ar. Esse mesmo procedimento foi realizado com uma manta similar, porém sem nenhum contato com o formaldeído para ser utilizada como zero para ser comparada como parâmetro de teste.

Após a análise do material coletado da própria prensa no LABPA (teste preliminar), se iniciou os testes do material adquirido na fábrica de MDF, onde se analisou 50 mantas.

5.4 Teste do reagente de grafe

O reagente de grafe (*uso para determinação qualitativa de formaldeído*), foi preparado mediante a dissolução de 1g de difenilamina em 100g de H_2SO_4 concentrado. Este reagente, em contato com a solução contendo formaldeído, reage formando um anel, ou uma zona verde em um tubo de ensaio.

Para se testar a detecção do formaldeído com o reagente de grafe, foi montado um sistema fechado com três Kitassatos, três rolhas (sendo uma rolha furada), duas mangueiras de silicone e uma manta algodão. O kitassato contendo o 50 ml de formaldeído puro foi aquecido á 40°C por 30 minutos. O formaldeído evaporado percorreu até o kitassato 2, que estava submerso em uma bandeja com água, para resfriamento e permitir que chegasse ao kitassato 3, que continha em seu interior uma mata de algodão, somente o formaldeído gás (Figura 17). Após esse procedimento foi realizado o teste comparando a manta de algodão do sistema fechado de coleta de formaldeído como uma manta de algodão testemunha, que não foi submetida a ao sistema de coleta de gás. Uma pequena amostra de algodão foi colocada em um tubo de ensaio em contato com 2 ml de água destilada e 6 a 10 gotas do reagente de grafe.

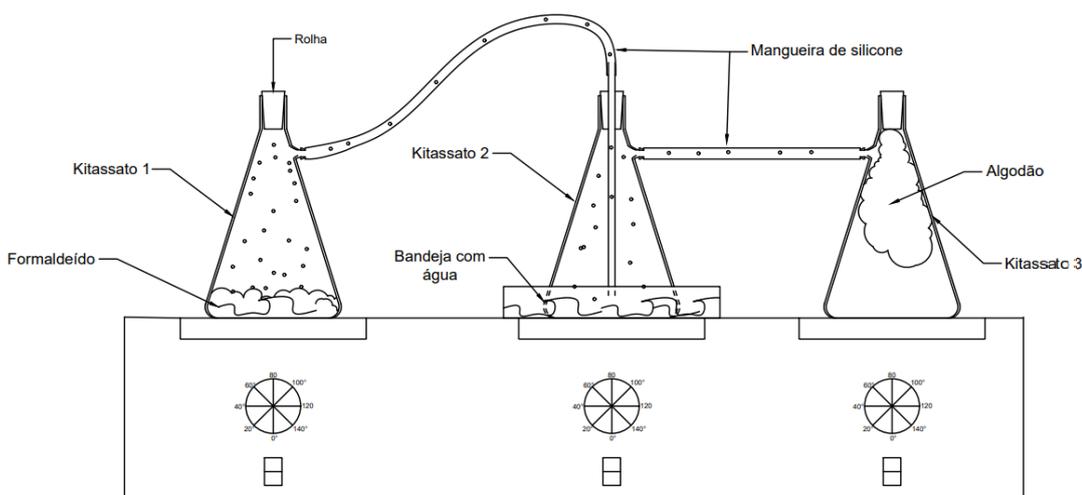


Figura 17: Esquema idealizado para um sistema fechado visando aferição do teste com o reagente de grafe.

Fonte: O Autor (2022).

5.5 Teste sobre a volatilidade do formaldeído impregnado no algodão

Foi realizado um teste da retenção de formaldeído na manta de algodão, quando exposto ao ambiente. Foram preparadas duas amostras de algodão (Figura 19), embebidas em formaldeído, uma foi mantida em estufa por aproximadamente 20 dias e outra em um ambiente aberto no interior do LABPA pelo mesmo período. As duas mantas de algodão foram testadas no primeiro dia, no terceiro dia e após os 20 dias. Utilizou-se os mesmos parâmetros de análise, diluição em 2ml de água destilada em tubo de ensaio, uma pequena amostra de algodão e 6 a 10 gotas do reagente

grafe, com objetivo de se detectar a presença ou não de formaldeído no algodão, lembrando que este teste é apenas qualitativo.

Foi realizado um teste sobre a volatilidade do algodão e sua capacidade de reter ou não gases quando exposto ao ambiente sem nenhuma forma desse gás está lacrado.

Para isso foi escolhido aleatoriamente duas amostras de algodão de massa desconhecida e submerso em formaldeído puro. Uma amostra foi mantida em estufa por aproximadamente 20 dias e outro algodão em um ambiente aberto no interior do LABPA pelo mesmo período, os dois algodões foram então testados no primeiro dia, no terceiro dia e após os 20 dias a fim de aferir se o resultado se manteria constante demonstrando a presença do formaldeído. Utilizou-se os mesmos parâmetros de análise, diluição em 2ml de água destilada e de 6 a 10 gotas do reagente grafe (Figura 18).

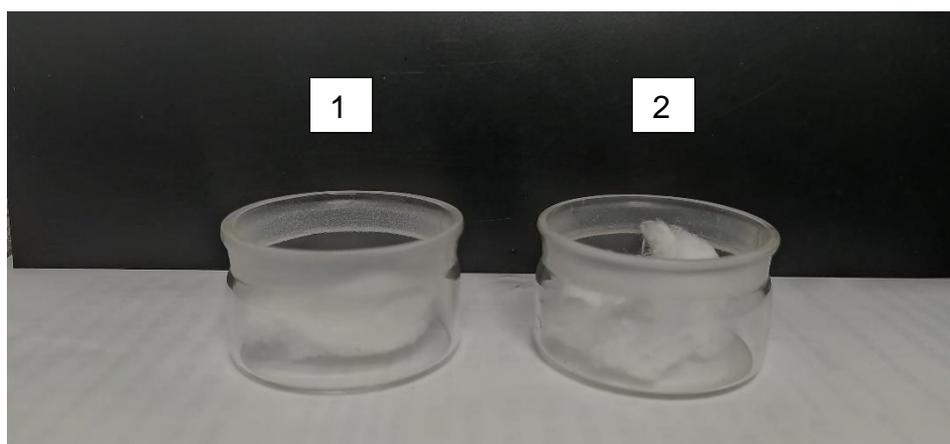


Figura 18: Algodão com formaldeído seco em estufa (1) e disposto em área externa ao LABPA (2) para análise e aferição da metodologia.

Fonte: O Autor (2022).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Análise das amostras coletadas na prensa do laboratório

Foram testadas inicialmente 10 mantas de filtro de algodão coletadas no laboratório (LABPA) durante a utilização da prensa. Ao analisar essas mantas pode-se observar que não houve presença de formaldeído nas mesmas a nível de ser identificada pelo reagente utilizado (Figura 19).

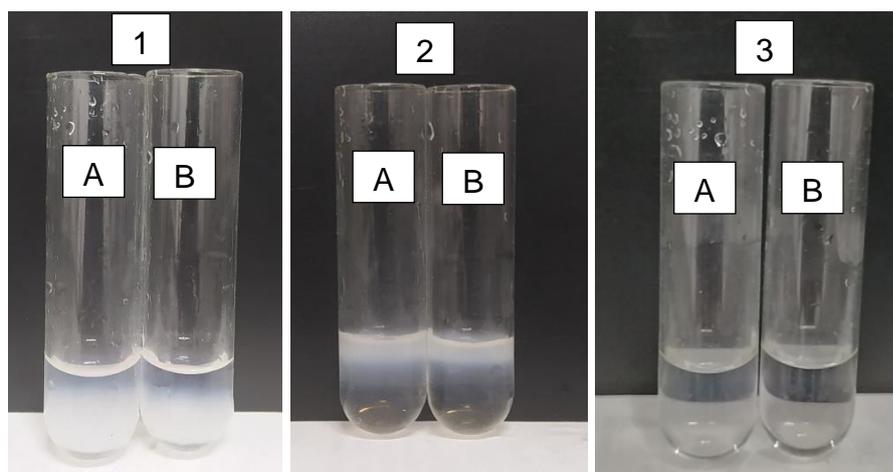


Figura 19: Análise das mantas de algodão obtidas no Laboratório de Painéis. 1: aplicada 3 gotas do reagente; 2: aplicada 6 a 10 gotas de reagente; 3: aplicado 10 a 15 gotas de reagente; A: manta de algodão da prensa; B: algodão puro usado como zero.

Fonte: O Autor (2022).

Pode ser observado pela imagem anterior que a princípio quando aplicado poucas gotas (3) do reagente, o material de análise fica nebuloso o que pode gerar uma dúvida ao se analisar visualmente. Porém, após ser aplicada mais algumas gotas (6 a 10), pode-se observar que a nebulosidade some, esse mesmo fenômeno aconteceu com o zero, demonstrando assim a não presença suficiente nessa amostra para inferir que com total certeza que existe a presença de formaldeído.

6.2 Análise das amostras coletadas na fábrica de MDF

O mesmo procedimento anterior foi realizado com as mantas de filtro de algodão coletadas na fábrica.

Observou o mesmo comportamento anterior para todas as mantas, inclusive para as mantas coletadas no ponto 3 (saída da prensa), local este com indicativo de emissão de formaldeído mais intenso para atmosfera. Pode se observar na Figura

21 que o comportamento é similar ao se aplicar poucas gotas (3) um turvo aparece. Porém ao se aplicar mais gotas (6 a 10), essa turbidez começa a desaparecer e quando se aplica 10 ou mais gotas a nebulosidade desaparece por completo, concluindo assim, que não existe presença de formaldeído suficiente para ser detectado com a formação de um anel esverdeado na solução (Figura 21).

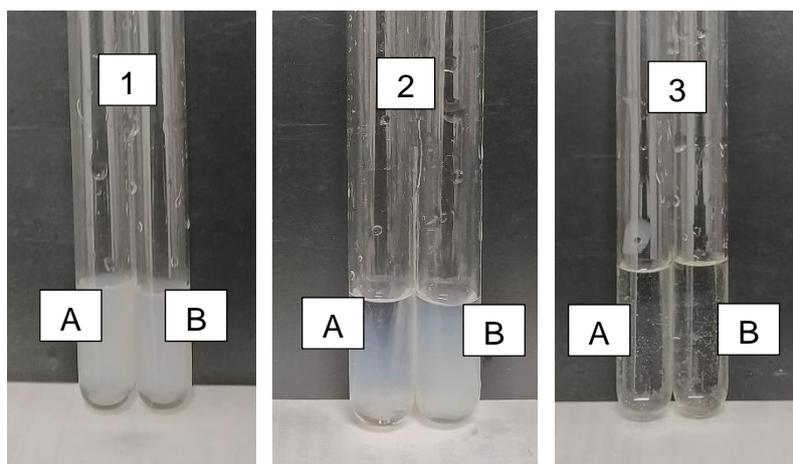


Figura 20: Análise das mantas de algodão obtidas na fábrica de MDF. 1: aplicada 3 gotas do reagente; 2: aplicada 6 a 10 gotas de reagente; 3: aplicado 10 a 15 gotas de reagente; A: manta de algodão da fábrica; B: algodão puro usado como zero. Fonte: O Autor (2022).

6.3 Análise do algodão do sistema fechado

O teste com a manta de algodão do sistema fechado de coleta de gás (Figura 17), foi realizado mediante adição de 10 gotas do reagente de grafe, a nebulosidade não desapareceu e formou-se um anel na parte superior do tubo de ensaio, e para a testemunha, algodão puro com 10 gotas do reagente a amostra se torna incolor, assim, pode-se concluir que o reagente de grafe foi positivo para presença de formaldeído, atestando que o método de análise detectou o formaldeído presente na manta de algodão do sistema fechado (Figura 21).



Figura 21: Análise da manta de algodão obtida no sistema fechado, em laboratório. A: manta de algodão do sistema após utilização do indicador sem perder a nebulosidade; B: algodão puro usado como zero.

Fonte: O Autor (2022).

6.4 Análise da volatilidade do algodão

Quando testado a volatilidade do algodão, os dois algodões em estudo tiveram o seguinte comportamento, após 24 horas secando em estufa e outro no ambiente aberto do LABPA, pôde se sentir a presença do formaldeído devido seu cheiro característico, e quando em contato com o reagente de grafe se observou a nebulosidade.

Após 72 horas o comportamento continuou o mesmo; depois de 20 dias o cheiro ainda era presente mesmo com uma certa dificuldade para observar a nebulosidade após contato com o reagente, ainda assim pode ser afirmar que existe uma volatilidade no algodão, mesmo em um período de 20 dias, pois foi possível a detecção da presença de formaldeído (Figura 22).

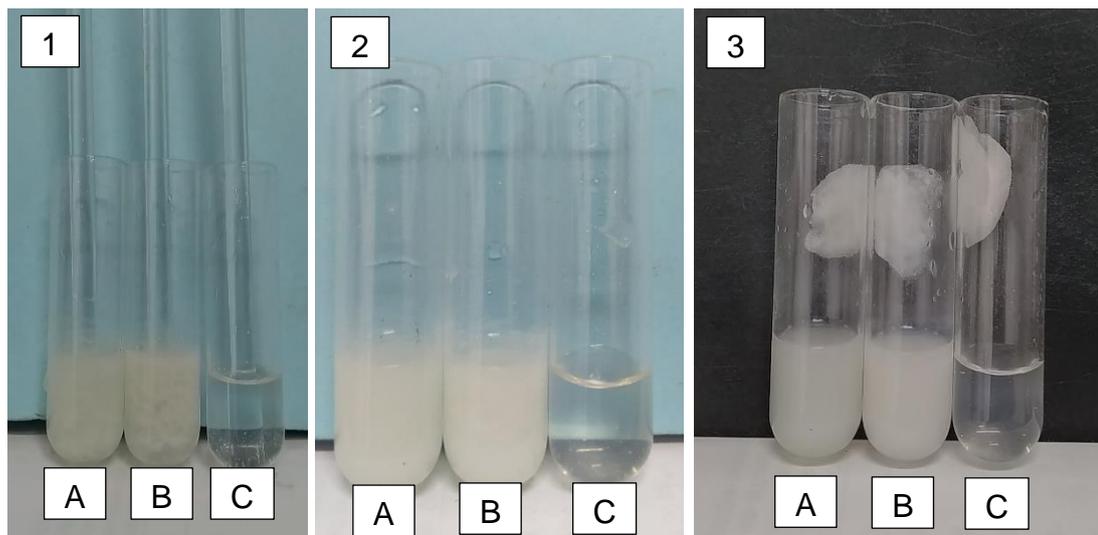


Figura 22: Análise da volatilidade do formaldeído nas mantas de algodão. 1: após 24 horas; 2: após 72 horas; 3: após 20 dias; A: algodão exposto ao ambiente; B: algodão seco na estuda; C: algodão puro usado como zero.
Fonte: O Autor (2022).

7. CONCLUSÃO

A eficiência da metodologia foi satisfatória, onde se sabe que o método qualitativo do reagente grafe para detectar a presença de formaldeído funciona, porém em concentrações relativamente superior ao do presente estudo.

O formaldeído liberado no ambiente fabril estudado não é em quantidades suficientes para ser capturado pelo protótipo analisado em questão.

O estudo foi satisfatório, pois pode-se realizar adaptações no protótipo para uma melhor eficiência.

8. SUGESTÕES

Fazer o teste com o reagente grafe assim que coletar a amostra (*in locu*), uma vez que por ser um teste rápido, evita-se possíveis volatilizações do formaldeído.

Ciclos menores de troca de mantas de filtro de algodão, para 6, 4 ou até mesmo 2 horas.

Adaptar ao protótipo um sistema capaz de coletar o extraído em ambiente saturado com água, evitando-se assim que o mesmo possa ser liberado para o ambiente, analisado a água posteriormente.

9. REFERÊNCIAS

ALVES, C. A.; ACIOLE, S. D. G. Formaldeído em escolas: uma revisão. **Química Nova**, v. 35, n. 10, p. 2025-2039, 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM **D 5582:14**: Método de teste padrão para determinar os níveis de formaldeído de produtos de madeira usando um dessecador. West Conshohocken, 2014.

BREGINSKI, H. D. B.; SCHIMID, A. L. Qualidade do ar em ambiente interior: Experimentos exploratórios sobre a presença de formaldeído. In: XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído. 10p. Campinas, v. 1, outubro 2015.

CAMPOS, C. I.; LAHR, F. A. R. Estudo comparativo dos resultados de ensaio de tração perpendicular para MDF produzido em laboratório com fibras de pinus e de eucalipto utilizando uréia-formaldeído. **Revista Matéria**, v. 9, n. 1, p. 29-40, 2004.

COELHO, M. C. S. D. M. **O formaldeído em ambiente laboral: determinação do ácido fórmico em urina de trabalhadores de uma fábrica produtora de formaldeído**. 2009. 142p. Dissertação (Mestrado em Toxicologia Analítica, Clínica e Forense) – Faculdade de Farmácia, Universidade do Porto, Portugal, 2009.

COLODETTE, J. L. *et al.* The Brazilian wood biomass supply and utilization focusing on eucalypt. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 1, n. 25, p. 1-8, 2014.

EISFELD, C. L.; BERGER, R. Análise das Estruturas de Mercado das Indústrias de Painéis de Madeira (Compensado, MDF e OSB) no Estado do Paraná. **Floresta**, v. 42, n. 1, p. 21-34, 2012.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION - CEN. **EN 717-1**: Wood-based panels - Determination of formaldehyde release - Part 1: Formaldehyde emission by the chamber method. Brussels, 2004.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION - CEN. **EN 717-2**: Wood-based panels - Determination of formaldehyde release - Part 2: Formaldehyde release by the gas analysis method. London, 1995. 16p.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION - CEN. **EN 717-3**: Wood-based panels - Determination of formaldehyde release - Part 3: Formaldehyde release by the flask method. London, 1996. 9p.

FORMALDEHYDE (compound). In: NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION. Bethesda, Maryland: NCBI, 2016. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/formaldehyde#section=2D>. Acesso em: 25 Ago. 2021.

FRANZ, A. W.; *et al.* **Formaldehyde**. New York: Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 2016. http://doi.org/10.1002/14356007.a11_619.pub2

Hester, R. E.; Harrinson, R. **Volatile organic compounds in the atmosphere**, The Royal Society of Chemistry: London, 1995.

IHS MARKIT LTD. **Formaldehyde**. Chemical Economics Handbook. London, 2019. Disponível em: <https://ihsmarkit.com/products/formaldehyde-chemical-economics-handbook.html>. Acesso em: 20 Ago. 2021.

INDUKERN. Ficha de informações de produtos químicos. Formol, 2008. Disponível em: www.indukern.com.br. Acesso em: 15 Jul. 2021.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório 2020**. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf> Acesso em: 30 Jun. 2022.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório 2021**. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2021-compactado.pdf> Acesso em: 27 Ago. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER - INCA. Formol. **Instituto Nacional de Câncer**, 2021. Disponível em: <https://www.inca.gov.br/exposicao-no-trabalho-e-no-ambiente/solventes/formol>. Acesso em: 30 Ago. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA - INMETRO. **Qualidade do Ar em Estabelecimentos de Uso Público e Coletivo**, 2013. Acesso em: 25 agosto de 2021. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/qualidadedoAr.asp>. Acesso em: 58 Ago. 2021.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER - IARC. **Chemical agentes and related occupations: a review of human carcinogens**. Lyon, France: IARC, 2012. p. 401-435. (IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, v. 100F). Disponível em: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol100F/mono100F-29.pdf>. Access in: 30 August 2021.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER - IARC. **Formaldehyde, 2- Butoxyethanol and 1-ter-Butoxypropan-2-ol**. Lyon, France: IARC, 2006. (IARC Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk to humans, v. 88). Disponível em: <https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/mono88.pdf>. Acesso em: 25 Ago. 2021.

JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD - JIS. **A 1460**: Building boards Determination of formaldehyde emission - Desiccator method. Tokyo, 2001. 14p.

KOISTINEN, K.; *et al.* The INDEX project: executive summary of a European Union project on indoor air pollutants. European Commission – **Joint Research Center Journal compilation**, n. 63. p. 810-819, 2008.

LACAVA, C. I. V. Avaliação da Qualidade do Ar: Equipamentos de amostragem e métodos de medição. *In*: EMISSÕES Atmosféricas. [S. l.: s. n.], 2014. cap. 2, p. 131-180.

MARIANO, S.; *et al.* Colorimetric detection of formaldehyde: a sensor for air quality measurements and a pollution-warning kit for homes. **Procedia Engineering**, n. 5, p.1184-1187, 2010.

NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH - NIH. Division of Occupational Health and Safety. Formaldehyde surveillance program. Bethesda: NIH, 2018. Disponível em: <https://www.ors.od.nih.gov/sr/dohs/documents/nih%20formaldehyde%20program.pdf>. Acesso em: 25 Ago. 2021.

NATIONAL TOXICOLOGY PROGRAM - NTP. Final report on carcinogens background document for formaldehyde. Research Triangle Park: NTP, 2010. Disponível em: https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/roc/twelfth/2009/november/_formaldehyde_bd_final.pdf. Acesso em: 25 Ago. 2021.

NIELSEN, G. D.; LARSEN, S. T; WOLKOFF, P. Re-evaluation of the WHO. Diretriz de qualidade do ar interno de formaldeído para avaliação de risco de câncer, 2010. **Archives of Toxicology**, v. 91, n. 1, p. 35-61, 2017.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA - FAO. FAO publica a produção dos principais países do mercado de compensado de madeira, destacando no período entre os anos de 2010 e 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO/visualize>. Acesso em: 27 Ago. 2021.

PEREIRA, E. A.; CARDOSO, A. A.; DASGUPTA, P. K. Gota suspensa para avaliação de aldeído total no ar interno e externo do ambiente. **Química Nova**, v. 24 n. 4, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422001000400003>

Salthammer, T.; Mentese, S.; Marutzky, R. Formaldehyde in the indoor environment. **Chemical Reviews**, v. 110, n. 4, p. 2536-2572, 2010. <https://doi.org/10.1021/cr800399g>

SANHOOB, M. A.; *et al.* **Production of formaldehyde from methanol**. 2012. 200 f. Integrated Final Report (Design Course) – College of Engineering Sciences and Applied Engineering, King Fahd University of Petroleum & Minerals, Dhahran, Saudi Arabia, 2012. Disponível em: [https://faculty.kfupm.edu.sa/CHE/rshawabk/files/Production of Formaldehyde from Methanol.pdf](https://faculty.kfupm.edu.sa/CHE/rshawabk/files/Production%20of%20Formaldehyde%20from%20Methanol.pdf). Acesso em: 30 Ago. 2021.

SCHIRMER, W. N.; *et al.* A poluição do ar em ambientes internos e a síndrome dos edifícios doentes. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 16, n. 8, p. 3583-3590, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232011000900026>

TULPULÉ, K.; HOHNHOLT, M.; DRINGEN, R. Formaldehyde metabolism and formaldehyde-induced stimulation of lactate production and glutathione export in cultured neurons. **Journal of Neurochemistry**, v. 125, n. 2, p. 260-272, 2013. <https://doi.org/10.1111/jnc.12170>

VERONEZ, D. A. L.; *et al.* Potencial de risco para a saúde de docentes, pesquisadores e técnicos de anatomia expostos ao formaldeído. **Interfacehs, Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 5, n. 2, p. 1-14, 2006.

VIDAL, A. C. F.; HORA, A. B. **Panorama de mercado: painéis de madeira**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 40, p. 323-384, 2014.

VITAL, B. R.; CARNEIRO, A. de C. O.; PIMENTA, A. S. Adesivos à base de taninos das cascas de duas espécies de eucalipto para produção de chapas de flocos. **Revista Árvore**, v. 28, n. 4, p. 571-582, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622004000400011>

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Fact sheets. **Cancer**. [Geneva]: WHO, 2017. Disponível em: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs297/en/index.html>. Acesso em: 25 Ago. 2021.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for indoor air quality**: selected pollutants. Geneva: World Health Organization, 2010. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/260127>. Acesso em: 25 Ago. 2021.