UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE

RASTREAMENTO DO FORMOL NA PRODUÇÃO DE MDF E MDP A PARTIR DA MADEIRA

Camila Pereira Grandini

2014

RASTREAMENTO DO FORMOL NA PRODUÇÃO DE MDF E MDP A PARTIR DA MADEIRA

Camila Pereira Grandini

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal do Rio Grande, como parte dos requisitos necessários à graduação em Engenharia Agroindustrial Agroquímica.

Orientadora: Dra. Cristina Benincá

Santo Antônio da Patrulha

Dezembro de 2014

RESUMO

As questões ambientais impactam direta ou indiretamente em nosso cotidiano. Sabe-se que as consequências sofridas estão diretamente atreladas a ações ambientais irresponsáveis dos seres humanos, que em sua maioria, enxergam a natureza somente como fonte lucrativa e inesgotável de recursos naturais. Neste segmento, o formaldeído é utilizado em grande escala para adesão de partículas formando a Fibra de Média Densidade (MDF) e a Partícula de Média Densidade (MDP). O formaldeído é um gás incolor, reativo e possui um cheiro forte em temperatura ambiente. A inalação de formaldeído por exposição por curto ou longo tempo pode resultar em sintomas respiratórios, irritação de olhos, nariz e garganta, além de vários tipos de câncer. Tanto a exposição profissional quanto as emissões atmosféricas tornaram-se problemas de grande preocupação, por isso é altamente desejável que sejam aplicadas medidas de controle de emissão do formaldeído em cada estágio do processo produtivo. Neste sentido, o presente projeto teve por objetivo principal a investigação de todas as etapas de produção de MDF e MDP responsáveis pela emissão de formaldeído e verificar as tecnologias utilizadas pela empresa para controle de emissão deste poluente. Esta é uma pesquisa qualitativa que utiliza o método de estudo de caso e se propõe a analisar as ações de gerenciamento de formaldeído realizadas por uma empresa de grande porte que produz painéis reconstituídos de madeira. Com este estudo foi possível verificar a preocupação da empresa com a saúde ocupacional dos colaboradores devido à exposição ao formaldeído e propor melhorias para o desempenho ambiental da empresa. Investigou-se também as tecnologias disponíveis que poderiam ser implementadas pela unidade industrial para minimizar os impactos ambientais e garantir a segurança e saúde dos trabalhadores.

Palavras-chaves: Formaldeído, MDF, MDP, Saúde Ocupacional, Emissão Atmosférica.

ABSTRACT

There are many environmental issues that causes several problems to our daily activities. Many consequences are related to irresponsible actions carried by population on the environment which are only considered as a lucrative source of natural resource. Formaldehyde is an important industrial chemical used in large scale to glue the particles together in Medium Density Fiberboard (MDF) and Medium Density Particleboard (MDP). Formaldehyde is a typical example of pollutant that can be released into the air during processing and for long periods from materials made with it. Formaldehyde is a colorless, reactive, strong-smelling gas at room temperature. Acute (short-term) and chronic (long-term) inhalation exposure to formaldehyde can result in respiratory symptoms, and eye, nose, and throat irritation, in addition to several cancers. Both, occupational exposure and environmental emissions have become issues of increasing concern that it is highly desirable apply mesurements to control the formaldehyde emission at each productive process stage. Based on it, the current project aimed the investigation of every step of the MDF and MDP production process that release formaldehyde and to verify technologies used for the formaldehyde emission control. It is a qualitative research, using the case study method, and proposes an analysis of the actions in the area of formaldehyde management of a large reconstituted wood panels industry (MDF and MDP). This study show that the company, concerned with occupational safety and health of their employees is promoting improvements in environmental performance. An assessment was made of the avaliable technologies which could be implemented to minimize environmental impacts and to ensure safety and health of wokers.

Key words: Formaldehyde, MDF, MDP, occupational health, environmental emissions.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Estrutura molecular do formaldeído ou formol.....11

Figura 2 - Painel MDF sem revestimento.....20

Figura 3 - Painel MDP sem revestimento.....21

Figura 4 - Localização das indústrias na Região Sul e Sudeste.....27

Figura 5 - Fluxograma do processo produtivo do MDF (esquerda) e do processo produtivo do MDP (direita).....35

Figura 6 - Fluxograma do processo produtivo do MDF (esquerda) e MDP (direita) com destaque em vermelho nas etapas que liberam formol.....37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção mundial de MDF e MDP em 2008.....26
Tabela 2 - Dados de produção e comercialização do MDP.....28
Tabela 3 - Dados de produção e comercialização do MDF.....28
Tabela 4 - Médias das emissões de formol no ambiente fabril.....40

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Propriedades químicas e físicas do formol.....12
Quadro 2 - Identificação dos riscos do formol.....15
Quadro 3 - Efeitos do formol em baixas concentrações no ar.....16
Quadro 4 - Características da resina UF.....24

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 8
2. OBJETIVOS 10
2.1 Objetivo Geral 10
2.2 Objetivos Específicos 10
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 11
3.1 Formaldeído 11
3.2 Utilização do formol 12
3.3 Danos à saúde humana 14
3.4 Presença do Formaldeído no meio ambiente 17
3.5 Reação de Hantzschen 17
3.6 Indústria Madeireira 19
3.6.1 MDF - Medium Density Fiberboard 20
3.6.2 MDP - Medium Density Particleboard 21
3.7 Revestimento 22
3.8 Resina 22
3.8.1 Resina Uréia-formaldeído 23
3.8.2 Resina Melamina-formaldeído 25
3.9 Tratamento de efluentes contendo Formaldeído 25
3.10 Cenário da Produção Mundial e Nacional de Painéis de MDF e MDP 26
4. METODOLOGIA 30
4.1 Características da empresa: objeto de estudo 31
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES 32
5.1 Processo produtivo 32
5.2 Liberação de formol 36
5.3 Alternativas para minimizar os riscos à saúde e a poluição ambiental 42
5.3.1 Possível alteração na relação molar da resina uréia-formaldeído 42
5.3.2 Possível substituição da formulação da resina 42
5.3.3 Implementação de um incinerador catalítico na saída do secador 43
6. CONCLUSÕES 45
Referências bibliográficas 46
ANEXOS 50

1. INTRODUÇÃO

Os danos ambientais impactam direta ou indiretamente em nosso cotidiano, em função de alterações climáticas, da escassez de recursos naturais, dentre outros aspectos que afetam o meio ambiente. Sabe-se que as consequências sofridas estão diretamente atreladas a ações ambientais irresponsáveis dos seres humanos, que em sua maioria, enxergam a natureza somente como fonte lucrativa e inesgotável de recursos naturais, esquecendo-se das consequências a longo prazo.

Surge então uma das principais causadoras de danos ambientais: as indústrias químicas. Estas são responsáveis por causar impactos de diferentes tipos e intensidades ao meio ambiente (COELHO, 2009).

Neste setor de indústrias químicas, uma das matérias-primas de grande uso e que merece destaque em virtude de seu potencial poluidor é o formol. O formaldeído, comumente chamado de formol quando em solução aquosa, é um gás incolor, solúvel na água e que reage rapidamente com o local de contato (INDUKERN, 2008). O formol causa diversos efeitos adversos à saúde humana que vão desde simples irritação das vias aéreas e nos olhos, até reações inflamatórias, além de induzir a formação de carcinomas nasais e causar mutações em células humanas. Esse composto é considerado igualmente tóxico para organismos aquáticos e animais terrestres (COELHO, 2009).

A intensidade dos efeitos causados depende da concentração utilizada e do tempo de exposição ao composto. De acordo com a Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC, 1982), atualmente o formol está classificado como agente carcinogênico para humanos e animais experimentais. Os trabalhadores ocupacionais de diversos setores químicos e hospitalares são considerados os principais afetados (LADEIRA, 2009).

Muitas indústrias madeireiras que fabricam painéis para uso em mobiliários e pisos ainda utilizam o formol como matéria-prima. O Brasil é um país que se destaca como um dos maiores produtores de painéis de madeira do mundo. Os painéis são produzidos a partir de partículas ou fibras de madeira reconstituída, originando produtos comercialmente conhecidos como aglomerados de MDF (*Medium Density Fiberboard* – Fibra de média densidade) e MDP (*Medium Density Particleboard* – Partícula de média densidade) (SILVA, 2012). Neste segmento industrial, 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.

Considerando o acima exposto, no presente trabalho foi investigados, junto a uma unidade produtiva de MDF e MDP, quais são as etapas produtivas responsáveis por gerar resíduos que contêm formol e, igualmente, serão identificados os procedimentos utilizados pela própria empresa para controle ambiental deste composto, permitindo, finalmente, realizar uma investigação na literatura de processos, equipamentos e tecnologias utilizadas para controle e eliminação deste poluente ambiental.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo do presente trabalho consiste em investigar as etapas de produção de MDF (Medium Density Fiberboard – Fibra de média densidade) e MDP (Medium Density Particleboard – Partícula de média densidade) que geram resíduos contendo formol e identificar os processos utilizados para controle ambiental desta matéria-prima.

2.2 Objetivos Específicos

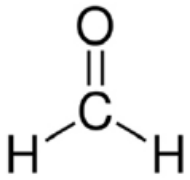
- Rastrear as etapas produtivas que utilizam o formol e identificar os pontos de liberação desta matéria-prima como poluente ambiental;
- Avaliar a possibilidade de recuperação e alternativas para reutilização do formol no processamento;
- Verificar junto à empresa a existência de tecnologias de controle de emissões atmosféricas contendo formol;
- Investigar processos, equipamentos e tecnologias utilizadas para controle e eliminação deste poluente ambiental;
- Identificar possíveis melhorias no processo produtivo de MDF e MDP em relação à emissão de formol.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Formaldeído

O formaldeído é o aldeído mais abundante na natureza, de fórmula molecular simples, como pode ser visto na Figura 1. É um gás incolor com odor irritante, sufocante e característico, sendo detectado em baixas concentrações (INDUKERN, 2008). De acordo com a Internacional *Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC), o nome oficial é metanal e ele é obtido pela oxidação do álcool primário, o metanol (COELHO, 2009).

Figura 1- Estrutura molecular do formaldeído ou formol



Fonte: COELHO, 2009.

Em solução aquosa o formaldeído é denominado formol (LORENZINI, 2012). O formol comercializado é uma mistura de 30% a 56% de formaldeído, de metanol, que conforme a proporção pode variar de 6% a 15%, algumas resinas como fenólicas, uréicas, vários poliacetatos, hexaminas e outros compostos em menores quantidades, como, por exemplo, metais pesados como o chumbo e o cádmio (VERONEZ *et al.*, 2006).

O formaldeído puro não é comercializado devido a sua rápida polimerização, então metanol é adicionado à solução para inibir essa característica viabilizando a sua utilização em diversos processos industriais (VERONEZ *et al*., 2006).

O formaldeído possui baixo peso molecular, 30.03 g mol^{-1}, solubilidade em água, álcool etílico, éter dietílico e clorídrico (INDUKERN, 2008). Ele se combina prontamente com outras substâncias formando com facilidade polímeros à temperatura e pressão ambiente normais, além de ser inflamável e reativo (COELHO, 2009). Na presença de ar, é oxidado a ácido fórmico (VERONEZ *et al*., 2006).

O formol é um produto químico orgânico, sendo o composto mais simples da família dos aldeídos cujas propriedades químicas e físicas estão descritas no Quadro 1.

Quadro 1 - Propriedades químicas e físicas do formol.

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

FONTE: INDUKERN, 2008.

O formaldeído é explosivo quando em contato com peróxidos, óxido de azoto e ácido perfórmico e pode reagir com o cloreto de hidrogênio ou outros cloretos inorgânicos. Ele é incompatível com oxidantes, amônia, álcalis, bissulfetos, sais de cobre, sais de ferro, sais de prata, iodetos, alcanos, ácidos e fenóis (PEREIRA, 2007; COELHO, 2009).

3.2 Utilização do formol

O formol é utilizado amplamente em diversos setores industrias, e por isso, a exposição pode ocorrer em ambientes ocupacionais, durante seu manuseio ou mesmo na população em geral devido a sua presença em produtos utilitários, como por exemplo, móveis e pisos de madeira (COELHO, 2009).

Esse composto é usado na agricultura para a produção de fertilizantes, na indústria madeireira como resinas uréia-formaldeído, melamína-formaldeído e fenol-formaldeído, compostos adesivos que servem para auxiliar a colagem dos revestimentos de painéis de madeira e também para o acabamento do produto. Na indústria têxtil ele é utilizado para melhorar a resistência aos vincos. Este composto, também é utilizado em outros setores como na produção de couro, borracha, cimento e fabricação de papel (branqueador) (PEREIRA, 2007), além de ser empregado como agente conservante de tintas e vernizes (LIMBERGER, 2011).

Este composto é utilizado em larga escala em laboratórios para conservar propriedades químicas e físicas de materiais biológicos, principalmente em laboratórios de anatomia para conservações de materiais para aulas (PEREIRA, 2007).

Em hospitais ele é utilizado como agente bactericida, estabilizante e desinfetante para a higienização de salas cirúrgicas e outros ambientes, pois em concentração 0,5% destrói todas as espécies de micro-organismos em aproximadamente 12 horas (LIMBERGER, 2011).

As tubulações ou tanques de armazenamento de formaldeído não podem ser de metais, como alumínio, aço e cobre, pois em contanto prolongado ocorre corrosão destes materiais (PEREIRA, 2007).

Este composto também pode ser utilizado como intermediário na produção industrial de produtos químicos, como o 1,4-butanediol, diisocianato de 4,4-difenilmetado, utilizado na síntese de poliuretanos, pentaerititritol, utilizados na fabricação de colas e hexametilenotetramina (COELHO, 2009).

A partir do formaldeído se produz um polímero composto de uréia-formaldeído que é muito utilizado na indústria de painéis compensados (MDF e MDP) que abastecem a indústria moveleira, a qual também é corresponsável pela liberação de formaldeído para o ambiente (COELHO, 2009).

No geral, o formaldeído está presente em muitos produtos de consumo, como cosméticos, papéis com brilho e fotografias a cores, etc., e no contexto do acima especificado, a população em geral, pode estar freqüentemente exposta a níveis baixos de formaldeído (COELHO, 2009).

3.3 Danos à saúde humana

Segundo INDUKERN (2008), o formol é um composto tóxico à saúde humana. Se inalado, causa severa irritação no trato respiratório, queimadura nas mucosas e dificulta a respiração. O contato direto com o composto pode ocasionar queimaduras na pele e nos olhos. Se o contato com a pele for prolongado ou frequente, causa endurecimento ou rachaduras resultando em hipersensibilidade e risco de edema alérgico.

A ingestão da solução de formaldeído causa severa irritação do trato gastrintestinal, vômitos e náuseas, acidose metabólica e hematúria e a exposição prolongada pode ocasionar depressão, malformações fetais e cegueira, podendo ainda ser observados efeitos mutagênicos por sua ação sobre grupos de aminas do ácido nucléico, possível choque e danos aos rins ou morte (HSDB, 2014).

A intensidade dos efeitos causados depende da concentração e do tempo em que o ser humano está exposto. A Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC, 1982) realizou vários estudos sobre o formaldeído, sendo que em 2004 este composto foi considerado possível carcinógeno humano (grupo 2), e apenas em 2006 foi considerado agente carcinógeno (grupo 1). Os trabalhadores ocupacionais de diversos setores químicos e hospitalares são considerados os principais afetados pela exposição a este composto (LADEIRA, 2009).

A legislação especifica que para ambientes com liberação ou utilização de formol é responsabilidade do Ministério do Trabalho determinar limites referentes à saúde operacional, suas tolerâncias, métodos de controle, utilização de EPIs, identificação dos poluentes, entre outros fatores (LADEIRA, 2009; LIMBERGER, 2011).

O Criteria Document publicado pelo Instituto Nacional de Saúde e Segurança Ocupacional dos EUA (NIOSH) sugere que o limite máximo de formaldeído presente no ar seja de 0,1 ppm $15M^{-1}$, sendo necessário o uso de luvas e máscaras durante a manipulação do produto, sendo que a máscara deve ter filtro especial para vapores orgânicos (EMERSON, 2010).

Por ser um composto cancerígeno em humanos, todo cuidado deve ser tomado durante a manipulação do formol. O mesmo deve ser estocado em temperatura ambiente, mas não inferior a 15ºC, deve ser protegido da luz e hermeticamente fechado para evitar contato com a atmosfera (EMERSON, 2010).

Caso haja derramamento do produto deve-se usar papel absorvente para recolhimento do líquido e toda a roupa contaminada deve ser imediatamente retirada e colocada em recipiente adequado para ser realizada a descontaminação. Quando em contato com a pele, deve-se lavar a superfície com sabão e água (EMERSON, 2010).

Os riscos identificados para o formol são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - Identificação dos riscos do formol.

Risco	Categoria	Frase de sinalização	Classificação de risco	Símbolo
Corrosividade	1	Cuidado	Pode ser corrosivo para metais	
Flamabilidade	4	Cuidado	Líquido Combustível	---
Toxicidade	3	Perigo	Tóxico se ingerido Tóxico se em contato com a pele Tóxico se inalado	
Carcinogenicidade	1B	Perigo	Pode causar câncer pela via inalatória	

Fonte: COPENOR, 2009.

No Quadro 3 são apresentados alguns efeitos da exposição ao formol em pequenas concentrações no ar (VERONEZ *et al*., 2006).

A concentração da dissipação do formol na atmosfera é expressa em “partes por milhão” (ppm), sendo que 1 ppm corresponde a 1,248 mg m^{-3} (VERONEZ *et al*., 2006).

A Associação de Saúde e Segurança Ocupacional (OSHA), em 1987, estabeleceu uma normatização para a utilização do formaldeído, que consta 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 (VERONEZ *et al*., 2006).

Quadro 3 - Efeitos do formol em baixas concentrações no ar.

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: VERONEZ *et al*., 2006.

Logo, em 1992, ocorreu uma alteração na normatização da OSHA, estabelecendo-se que o limite permitido devesse ser de 0,75 ppm por 8 horas de trabalho diário (VERONEZ *et al*., 2006).

Em 2009, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária divulgou pela RDC n° 36/09, a proibição na venda do produto formol (37% de formaldeído) em todo país em drogarias, farmácias, supermercados, armazéns, empórios e lojas de conveniência. Essa proibição se deu devido à preocupação com os riscos à saúde dos profissionais responsáveis por tratamentos estéticos que usavam o formol em larga escala (BRASIL, 2009).

3.4 Presença do Formaldeído no meio ambiente

Na atmosfera urbana com poluição no ar, o formaldeído contribui com cerca de 50% do total de aldeídos presentes, sendo formado pela oxidação de hidrocarbonetos por ação da luz e por combustão incompleta. A formação natural deste composto pode ocorrer na troposfera, também pelo fenômeno de oxidação ou por processos de combustão naturais (COELHO, 2009; LIMBERGER, 2011).

As emissões de formaldeído no ambiente ocorrem via escapamento dos motores de veículos, fábricas, incineradores, fumaça de cigarro, madeira, incêndios florestais, madeiras de construção, detergentes, desinfetantes, tapetes, tintas e vernizes, alimentos e respectivos processamentos (LIMBERGER, 2011).

Essa emissão na atmosfera pode acelerar a produção de ozônio urbano e outros produtos fotoquímicos, pois ele é um precursor do radical hidroxila. Esse fator contribui para o odor e irritação que surgem na presença de vapores químicos (COELHO, 2009).

A maior parte do formaldeído liberado ou produzido no meio ambiente se degrada, e uma pequena quantidade se transfere para a água. Quando o formaldeído é dissolvido na água, tanto nas águas subterrâneas quanto de superfície, também ocorre degradação. Ele não se acumula no ambiente, mas a sua liberação em concentrações relativamente altas e formação contínua, resulta em uma exposição longa perto de fontes de liberação (COELHO, 2009).

Estima-se que em águas potáveis, a concentração de formaldeído seja inferior a 0,1 mg L^{-1}. Na água, ele é rapidamente hidratado formando um glicol (COELHO, 2009).

Em ambiente natural, a concentração de formaldeído é inferior a 8×10^{-4} ppm, com média de 4×10^{-4} ppm. Em locais urbanizados a concentração pode variar e depende das condições do ambiente, sendo que as médias oscilam entre 8×10^{-4} a $1,6 \times 10^{-2}$ ppm. Em locais e horários de muito tráfego de veículos, ocorrem picos de concentração em curto período de tempo de até 8×10^{-2} ppm (COELHO, 2009).

3.5 Reação de Hantzschen

A reação de Hantzschen é exclusiva para a quantificação do formaldeído liberado por determinado produto e o método utiliza espectrofotometria mediante uma curva de calibração, com concentrações das soluções participantes da reação

previamente conhecidas. Essa reação ocorre entre uma molécula de formaldeído, duas de acetil acetona e uma de íons amônio, em um intervalo de tempo de aproximadamente de 90 minutos, formando o composto de 3,5 diacetil hidrolutidina (DDL), como pode-se ver na Equação 1 (EMERSON, 2010):

$$H_2CO + 2C_5H_8O_2 + NH_4^+ \xrightarrow[-3H_2O]{-H^+} C_{11}NO_2H_{15} \qquad \text{(Eq.1)}$$

O DDL é um composto de coloração amarela-esverdeado, sendo que quanto mais intensa a coloração, maior será a concentração do formaldeído. O comprimento de onda de máxima absorbância é em 412 nm e usa-se a reação para determinar a concentração de formaldeído, pois essa reação é equimolar (EMERSON, 2010).

Este método é também chamado de método acetil-acetona, essa reação é o modelo de determinação do formaldeído utilizado para produtos de madeira reconstituída, sabendo que neste tipo de produto existe liberação direta de formaldeído (EMERSON, 2010).

No caso de classificação e controle da emissão de formaldeído nos produtos de madeira, foram criadas algumas normas, dentre elas a EN 120: 1992 (Método Perforator).

A Norma Européia EN 120, baseia-se no Método Perforator, onde o formaldeído é removido do produto de madeira reconstituída a ser analisada, por um extrator à base de solvente. Este método pode ser feito para produtos ainda não revestidos. Uma quantidade determinada de amostra (110 ± 0,1 g) é colocada em um balão de fundo redondo, juntamente com um solvente, no caso tolueno (600 mL), onde é aquecido por uma manta aquecedora até sua evaporação. O vapor do tolueno arrasta o formaldeído e permite ser emergido pelo equipamento, em uma porção de água deionizada (1000 mL) após sua condensação. Antes do formaldeído ser arrastado pelo solvente, ele migra para a água, onde o solvente é descartado e o extrato aquoso removido é avolumado para um balão de 2000 mL, para posterior determinação quantitativa do formaldeído presente no produto. O período de ensaio recomendado nessa Norma é de duas horas, desde que seja possível a visualização das primeiras bolhas de tolueno emergindo (EMERSON, 2010).

O teor de formaldeído, conhecido como “valor do perforator”, é dado em mg de formaldeído por 100 g e é calculado pela Equação 2 que segue abaixo (EMERSON, 2010):

$$Valordoperforator = \frac{(As - Ab) * F * (100 + H) * V}{M_h} \quad \text{(Eq.2)}$$

Sendo:

As = absorbância da solução de extração analisada
Ab = absorbância da análise com água deionizada
F = fator de elevação da curva de calibração (em mg mL^{-1})
H =teor de umidade do material em (%)
M_h = massa do corpo de prova em gramas
V = volume do balão volumétrico (mL)

3.6 Indústria Madeireira

Em 2012, o setor de painéis de madeira no Brasil se apresentava como o 3º maior segmento industrial de base florestal, ficando atrás da indústria de papel e celulose e siderúrgica. Mundialmente, o Brasil estava, em 2012, entre os dez maiores produtores de painéis de madeira no mundo (SILVA, 2012).

Uns dos produtos deste segmento é a madeira reconstituída. Estes painéis são feitos com partículas ou fibras de madeira reconstituída, tendo com principais produtos: os aglomerados MDF (*Medium Density Fiberboard* – Fibra de média densidade) e MDP (*Medium Density Particleboard* – Partícula de média densidade) (SILVA, 2012). Esses produtos surgiram para atender a grande demanda gerada pela diminuição de oferta e encarecimento da madeira bruta (KOSCHEVIC; SANTOS; ROVARIS, 2013).

As principais madeiras utilizadas como matéria-prima para a produção de painéis são pinus e eucalipto, pois apresentam baixa idade de corte, alta produtividade, homogeneidade, custo competitivo e segurança de abastecimento (SILVA, 2003).

3.6.1 MDF - Medium Density Fiberboard

O MDF é uma chapa de madeira de média densidade fabricada a partir da aglutinação de fibras de madeira com resinas sintéticas e aplicação conjunta de temperatura e pressão. O MDF é um painel industrial homogêneo, com excelente estabilidade dimensional, de superfície uniforme, lisa e de alta densidade (ABIPA, 2014). Para a obtenção das fibras, a madeira é cortada em pequenos cavacos que, em seguida, são triturados por equipamentos desfibradores (ABNT, 2006).

A principal utilização do MDF é para a indústria moveleira, e seu uso é frequente como componente de móveis. Na construção civil, podem ser utilizados como pisos finos, rodapés, almofadas de portas, divisórias e batentes (AZEVEDO; PAIVA, 2012). A Figura 2 ilustra uma placa de MDF sem revestimento:

Figura 2 - Painel MDF sem revestimento.

Fonte: GOOGLE IMAGENS, 2014.

3.6.2 MDP - Medium Density Particleboard

O MDP é um painel de madeira reconstituída, assim como o MDF. As partículas são posicionadas de forma diferenciada, com as maiores dispostas ao centro e as mais finas nas superfícies externas formando três camadas. São aglutinadas e compactadas entre si com auxílio da resina sintética através da ação conjunta de pressão e calor em prensa contínua de última geração. É um painel homogêneo e de grande estabilidade dimensional (largura, comprimento e espessura) que resiste muito bem à flexão e ao arranque de parafusos (ABIPA, 2014).

O MDP pode ser usado sozinho ou combinado com outros painéis mais caros, sendo que um móvel feito de MDP será sempre mais econômico e mais competitivo do que móveis feitos com outras matérias-primas similares, como compensado ou MDF, com garantia de qualidade (EMERSON, 2010). A Figura 3 ilustra o painel de MDP sem revestimento:

Figura 3 - Painel MDP sem revestimento.

Fonte: GOOGLE IMAGENS, 2014.

Este aglomerado é especialmente indicado para a indústria moveleira e marcenaria e na produção de móveis residenciais e comerciais de linhas retas. Suas principais aplicações são: portas retas, laterais de móveis, prateleiras, divisórias, tampos retos, tampos pós-formados, base superior e inferior e frentes e laterais de gaveta (ABIPA, 2014).

3.7 Revestimento

Os painéis de aglomerados, MDF e MDP, são comercializados de diversas formas (ABIPA, 2014):

- *In Natura*, ou seja, sem revestimento: os painéis não recebem nenhum acabamento e são processados pelo próprio usuário, podendo ser pintados diretamente ou mesmo receber revestimento com laminado plástico, entre outros;
- Revestimento com laminado de Baixa Pressão (BP): consiste numa lâmina celulósica impregnada com resina melamínica que com alta temperatura e pressão é fundida aos painéis de madeira, resultando em um painel pronto para uso. Os papéis decorativos podem ser lisos ou com texturas, com cores sólidas, madeiradas ou fantasia. Com a aplicação deste revestimento é possível aumentar a resistência a riscos e manchas nas superfícies e reduzir a proliferação de micro-organismos;
- Revestimento com laminado tipo Finish Foil (FF) ou Lâmina Ecológica (LE): a lâmina celulósica especialmente envernizada é laminada sobre o MDF por meio de processo de temperatura e pressão. Este material é oferecido nos padrões unicolores, madeirados ou fantasias com diversas opções de acabamentos como standard, reenvernizável ou já com vernizes em alto brilho ou semi-fosco;
- Pintada (brilho ou semi-fosco): o painel é pintado ou laqueado com cores sólidas, madeiradas ou fantasia.

3.8 Resina

Normalmente, as resinas são substâncias não cristalinas, insolúveis em água, em grande parte solúveis em álcool, óleos essenciais e éter. Quando quentes,

amaciam e derretem sob a influência do calor (NATIONAL, 1981 apud EMERSON, 2010).

No processo de laminação e na produção de compensado, a resina é utilizada como um adesivo para ligar as folhas de madeira e partículas de madeira em conjunto (NATIONAL, 1981 apud EMERSON, 2010).

A qualidade e o tipo de resina tem efeito significativo sobre a composição dos painéis de madeira. O aumento do teor de resina causa um incremento nas propriedades mecânicas e na estabilidade dimensional.

Este fato se deve a uma maior disponibilidade de resina por área superficial de partículas, melhorando, com isto, as ligações interpartículas. Acima de um determinado nível de resina ocorre o recobrimento da partícula, porém o aumento do teor de resina não atua na melhoria da ligação entre as partículas (WEBER, 2011).

O método de aplicação e distribuição da resina é um importante fator que atua sobre a sua eficiência. Tanto a adesão interna quanto o módulo de ruptura de painéis reconstituídos dependem da distribuição da resina (WEBER, 2011).

De acordo com Weber (2011) os principais tipos de resina utilizados pelas indústrias de painéis de madeira reconstituída são a uréia-formaldeído (UF) e a melamina-formaldeído (MF). A escolha do tipo de resina está condicionada as condições de uso do produto final.

3.8.1 Resina Uréia-formaldeído

A resina uréia-formaldeído (UF) foi desenvolvida no início da década de 30. Os primeiros painéis de aglomerados feitos com resina uréia-formaldeído surgiram durante a Segunda Guerra Mundial, devido à escassez de madeira na Alemanha. As formulações de resina não sofreram grandes alterações, mas a partir dos anos 70 iniciaram-se as pressões por parte dos ambientalistas e dos usuários por painéis com baixas emissões de formol. Com isso aumentou o interesse na química da resina, ocasionando modificações nas formulações, e novas técnicas analíticas surgiram para auxiliar na diminuição das emissões de formol em até 10 vezes (KOSCHEVIC; SANTOS; ROVARIS, 2013).

De acordo com Razera (2006), a resina uréia-formaldeído, como sugere o nome, é composta por uréia e formaldeído. A uréia é produzida pela reação de

dióxido de carbono e amônia. O formaldeído é obtido pela oxidação do metanol preparado a partir de monóxido de carbono e hidrogênio, ou de petróleo.

Atualmente a resina possui uma ampla aplicação na indústria madeireira em todo mundo, como na colagem de madeira sólida e compostos laminados e particulados em geral. Vale destacar que mais de 90% das indústrias de painéis de madeira utiliza essa resina devido ao seu baixo custo. No entanto, uma das desvantagens no que diz respeito ao seu uso consiste na sua susceptibilidade a degradação hidrolítica na presença de umidade e/ou ácidos, especialmente em temperaturas moderadas a elevadas. Enquanto a queda da estrutura da resina se torna muito lenta em água fria, a deterioração se acelera acima de 40ºC, tornando muito rápida em temperatura acima de 60ºC. Devido a isso, esta resina é classificada como de uso interno (IWAKIRI, 2005 apud EMERSON, 2010).

As resinas uréia-formaldeído são produzidas em solução aquosa, com conteúdo de sólidos entre 60 a 70%, ou também na forma de pó, sendo que a vida útil em armazenagem à temperatura de 20°C, é em torno de 3 meses para resina líquida, e de cerca de um ano para resina na forma de pó (IWAKIRI, 2005 apud EMERSON, 2010). O Quadro 4 apresenta as características da resina uréia-formaldeído:

Quadro 4 - Características da resina UF.

Coloração	Branca leitosa
Teor de sólidos (%)	48 – 51
pH	7,4 – 7,8
Viscosidade (cP)	400 – 1000
Temperatura de cura (ºC)	90 – 110

Fonte: IWAKIRI, 2005 apud EMERSON, 2010.

3.8.2 Resina Melamina-formaldeído

A resina melamina-formaldeído apresenta coloração branca leitosa e tem como principal vantagem uma maior resistência à umidade em relação à resina uréia-formaldeído. Ela também apresenta cura mais rápida em relação a outras resinas (IWAKIRI, 2005 apud EMERSON, 2010).

No processo de fabricação do painel de melamina-formaldeído, controla-se o pH em torno de 9, para não acelerar demasiadamente a reação de condensação. Porém, a cura final ocorre em meio ácido, com a utilização dos mesmos catalisadores da resina uréia-formaldeído. A temperatura de cura é na faixa de 65 a 130ºC, sendo que na temperatura de 130ºC, não é necessário o uso de catalisador (RAZERA, 2006).

Esta resina foi usada primeiramente para laminados decorativos. O seu custo é de 3 a 4 vezes maior que a resina uréia-formaldeído, mas é aconselhável para ser utilizada em móveis que ficam expostos à ambientes mais úmidos. A resina melamina-formaldeído pode ser misturada com a resina uréia-formaldeído para certas aplicações, sendo comercializada como resina melamina-uréia-formol (MUF) (RAZERA, 2006).

A vida útil da resina melamina-formaldeído em armazenagem é em torno de uma semana na forma líquida, em temperatura de 30 a 35ºC, e por um período de um ano, quando na forma de pó (IWAKIRI, 2005 apud EMERSON, 2010).

3.9 Tratamento de efluentes contendo Formaldeído

O formaldeído, como já dito anteriormente, é um composto tóxico a saúde humana e também aos animais, logo, efluentes contendo formol devem ser devidamente tratados antes do seu descarte. Isso também se faz necessário pelo fato de que estes despejos podem causar expressivos impactos ao ambiente devido a sua alta Demanda Química de Oxigênio (DQO).

Em muitas industriais é comum o emprego de tratamentos de efluentes por processos biológicos, via anaeróbia, aeróbia ou mesmo pela combinação de ambas, o que é conhecido como sistema combinado. Sendo assim, é possível degradar o produto químico formol, dependendo da concentração em que este se encontra, pois altas concentrações (que ainda não estão bem definidas pela literatura) são

consideradas tóxicas para os micro-organismos, tanto para os aeróbios quanto para os anaeróbios. Além disso, ainda não estão bem esclarecidas as concentrações de formaldeído capazes de serem degradadas e os efeitos produzidos no lodo biológico por um efluente contendo este composto orgânico que seria tratado em um sistema combinado (PEREIRA, 2007).

3.10 Cenário da Produção Mundial e Nacional de Painéis de MDF e MDP

A produção mundial de painéis compensados se deu com o desenvolvimento das resinas sintéticas na década de 1950, pelo fato desta ter baixo custo.

Já a produção brasileira de MDF e MDP iniciou-se em 1997 tendo um crescimento consideravelmente rápido, chegando a volumes de 3,45 milhões de m^3 em 2005.

Os principais países produtores de painéis de madeira reconstituída são: China, Estados Unidos, Alemanha, Canadá, Rússia e Brasil. Em 2008, a produção mundial de MDF e MDO foi de 160,8 milhões de m^3, sendo o Brasil responsável por aproximadamente 4,7 milhões de m^3. Na Tabela 1 constam os volumes de produção dos principais países:

Tabela 1 - Produção mundial de MDF e MDP em 2008.

Posição/País	MDF (m^3)	MDP (m^3)	% mundial
1º China	27.405.000	11.505.000	24,18
2º EUA	3.021.390	18.164.320	13,17
3º Alemanha	4.602.525	10.193.000	9,2
4º Canadá	1.207.000	7.962.000	5,7
5º Rússia	1.170.000	5.750.000	4,3
6º Brasil	2.073.800	2.617.070	2,91

Fonte: ABIPA, 2008.

O Brasil vem se destacando pelo rápido crescimento na produção dos painéis compensados, sendo que de 2005 até 2012 a capacidade instalada das indústrias praticamente dobrou.

Existem dois grandes grupos de regiões produtoras, as quais se diferenciam pelo tipo de madeira utilizada e o nível tecnológico das empresas. O primeiro são as empresas com origem ou instalações no norte do Brasil, especializadas na produção do compensado de madeira tropical. O segundo, localizado principalmente na

Região Sul e Sudeste, direcionado para o processamento de madeiras moles, provenientes de florestas plantadas, o pinus e o eucalipto (Bacha; Brugnara; Filho, 2007).

Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira (ABIPA, 2014), atualmente as principais fábricas estão localizadas nos estados de Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. As empresas produtoras de MDF e MDP são: Arauco, Berneck, Duratex, Eucatex, Fibraplac, Guararapes, Masisa e Sudati. Na Figura 4, apresenta-se a localização dessas indústrias no Brasil.

De acordo com ABIPA (2014), a capacidade nominal instalada de produção brasileira em 2013 de MDF e MDP é de 9,91 milhões m^3/ano, gerando cerca de 30 mil postos de trabalhos diretos e indiretos. São plantados aproximadamente 800 mil hectares de florestas de pinus e eucalipto para suprir a demanda deste setor.

Atualmente o Brasil é independente na produção de MDP, ou seja, o consumo interno é menor que a capacidade de produção. Porém para suprir o consumo de MDF, tem-se a necessidade de importar dos demais países. Na Tabela 2, observam-se as taxas de produção, importação, exportação, consumo interno e capacidade nominal instalada para o MDP. Os dados mostrados na Tabela 3, referem-se à produção e comercialização do MDF entre os anos de 2005 e 2012.

Figura 4 - Localização das indústrias na Região Sul e Sudeste.

Fonte: ABIPA, 2014.

Até este ano de 2014 estima-se que a capacidade nominal produtiva brasileira de painéis de MDF estará em 5,7 milhões de m^3 por ano, superando a capacidade nominal de produção do MDP estimada em 4,7 milhões de m^3 por ano. As previsões para o setor são que a produção de painéis crescerá à taxa de aproximadamente 4% ao ano até 2020 (ABIPA, 2014).

Tabela 2 - Dados de produção e comercialização do MDP.

Ano	Produção (m^3)	Importação (m^3)	Exportação (m^3)	Consumo Interno (m^3)	Cap. Nominal (m^3)
2005	2.048.957	78.400	25.750	2.101.607	2.800.000
2006	2.198.216	64.700	76.670	2.186.246	2.900.000
2007	2.557.141	28.080	37.390	2.547.831	3.085.000
2008	2.617.066	42.520	26.640	2.632.946	3.265.000
2009	2.488.915	36.271	25.761	2.499.425	4.020.000
2010	3.017.902	15.388	16.235	3.017.055	4.544.000
2011	3.069.718	1.470	23.993	3.047.195	4.790.000
2012	3.260.646	2.699	30.612	3.232.733	4.790.000

Fonte: ABIPA, 2014.

Tabela 3 - Dados de produção e comercialização do MDF.

Ano	Produção (m^3)	Importação (m^3)	Exportação (m^3)	Consumo Interno (m^3)	Cap. Nominal (m^3)
2005	1.407.730	165.600	159.810	1.413.520	1.700.000
2006	1.695.359	238.800	73.300	1.860.859	1.800.000
2007	1.879.072	200.300	42.190	2.037.182	2.357.000
2008	2.073.796	215.900	26.800	2.262.896	2.547.000
2009	2.394.677	121.542	32.838	2.483.381	3.685.000
2010	3.036.337	162.247	24.445	3.174.139	4.193.000
2011	3.039.644	181.675	49.513	3.171.806	4.860.000
2012	3.678.407	91.758	115.693	3.654.472	5.125.000

Fonte: ABIPA, 2014.

Fazendo-se uma rápida análise dos dados das tabelas acima, pode-se verificar que atualmente o Brasil é independente na produção de painéis de MDF e MDP, pois a capacidade nominal de produção é maior que o consumo interno. Também é possível observar que os volumes de exportação são em maior quantidade do que importação, mostrando que este setor tem um grande potencial na indústria brasileira com crescimento exponencial.

Com base nos dados apresentados acima verifica-se que estes produtos apresentam um polo de fabricação bastante moderno no Brasil, por serem indústrias recentes, as quais vêm conquistando mercado cada vez maior pela indústria moveleira e de construção civil, devido a sua utilização. Este segmento vêm ocupando um espaço que até 1997 era reservado à madeira maciça ou produtos importados por empresas madeireiras (BARBOSA, 2010).

4. METODOLOGIA

Para atingir os objetivos propostos, inicialmente foi realizado um referencial teórico para o estudo, tendo em vista o obtenção de informações e conceitos a respeito da utilização do formol no processamento da madeira para produção de MDF e MDP, dos perigos ambientais causados pela sua dissipação, do grau de periculosidade aos funcionários da empresa pela exposição ao formol e dos processos utilizados para controle deste poluente.

A presente pesquisa possui caráter *qualitativo* (ROCHA; SOBRAL, 2012; FREITAS, 2005), pois devido ao interesse no conhecimento do processo produtivo responsável pela liberação do formol e, tendo em vista o fácil acesso à coleta de dados, por observação direta, entrevista a funcionários e verificação de registros de controle de emissões do formol, foi possível ao final deste trabalho obter dados relevantes ao que se que foi proposto inicialmente.

No contexto da pesquisa a ser desenvolvida, o método a ser utilizado neste projeto caracteriza-se como um “estudo de caso”.

De acordo com Yin (2005), pesquisas que envolvem **“**estudos de casos**”** caracterizam-se como uma maneira de investigar quando os comportamentos não podem ser manipulados isoladamente e necessitam ser analisados em conjunto, de modo a se obter respostas claras e encadeadas no contexto de plantas operacionais.

A proposta de um estudo de caso segundo Goldenberg (2003) é que este reúne o maior número de informações detalhadas, por meio de diferentes técnicas de pesquisa, com o objetivo de analisar a totalidade de uma situação e descrever a complexidade de um caso concreto através de um mergulho em um objeto de estudo delimitado.

Através de uma pesquisa qualitativa que utiliza o método de estudo de caso, pretendeu-se investigar quais são as etapas do processo de produção de MDF e MDP que utilizam o formol como matéria-prima, em quais etapas são gerados resíduos contendo formol, se existe algum controle de emissões atmosféricas em etapas específicas de produção e se o produto é recuperado e reutilizado no processo. Também se desejou identificar quais são as tecnologias de controle de poluição ambiental utilizada pela empresa para tratar, remediar ou eliminar este poluente de seus efluentes gerados.

4.1 Características da empresa: objeto de estudo

A Fibraplac é uma indústria madeireira fabricante de painéis, mais especificamente compensados de Pinus e Eucalipto. A empresa que se situa no município de Glorinha, Rio Grande do Sul, conta com número considerável de colaboradores visto que é toda automatizada, sendo atualmente de 1400, operando em três turnos de trabalho, e possui uma produção diária de aproximadamente 1500 m^3 de MDF e 1700 m^3 de MDP.

A empresa nasceu em 2000, quando o Grupo Isdra percebeu que o Brasil possuía um grande potencial para o fornecimento de produtos de origem florestal. Em 2003 iniciaram-se os testes de produção de MDF, com o início em 2004 de sua primeira linha de produção em escala industrial. Com o aumento da demanda, em 2007 foi instalada a segunda linha de produção de MDF. Logo, em 2009, houve a instalação de uma terceira linha de produção com um produto novo, o MDP. A indústria também conta com um setor de produção de pisos laminados, porém em escalas menores e com sazonalidade de produção.

O controle de qualidade da indústria é realizado por uma equipe constituída por: uma engenheira química, um químico industrial, um supervisor de qualidade e um estagiário técnico. Atualmente a empresa está implementando o selo de certificação Forest Stewardship Council (FSC), que trata-se de uma certificação florestal bastante completa, com uma série de normas que exigem da empresa solicitante um grande esforço no que tange as suas operações de manejo florestal (OMFs) para que entrem em conformidade com os requisitos solicitados.

A principal matéria-prima utilizada no processo de produção dos painéis de MDF e MDP é o formol. O mesmo é adicionado no cozimento das partículas de madeira e no revestimento dos painéis com papel decorado para uso na indústria moveleira. No setor de pisos laminados o formol também é adicionado para embebedar e colar um segundo revestimento, uma espécie de papel incolor, que tem a finalidade de aumentar a resistência dos pisos contra danos gerados por atritos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente capítulo disserta primeiramente sobre a produção mundial, nacional e regional de painéis de madeira reconstituída, bem como a importação e exportação ao longo dos últimos anos. Esse capítulo também visa apresentar as principais etapas do processo produtivo de tais produtos, destacando as etapas com adição de formol e também liberação desta matéria-prima no ambiente. Por fim, são apresentadas as técnicas que a empresa madeireira estudada está implementando para controlar as emissões de formol e as medidas corretivas para minimizar a exposição do trabalhador com este composto químico.

5.1 Processo produtivo

A partir das visitas realizadas a empresa estudada, foi possível observar o funcionamento do processo produtivo de painéis de madeira reconstituída, Na sequência do texto estão descritas as principais etapas do processo produtivo do MDF, e posteriormente são indicadas as diferentes etapas realizadas no processo produtivo do MDP.

Descascamento: para garantir melhor qualidade do produto final as cascas devem ser removidas antes da obtenção das fibras e/ou partículas. Essa operação ocorre em um grande tambor rotativo que solta as cascas através dos choques das toras entre si. Como as toras são utilizadas para obtenção de fibras e/ou partículas, o tamanho destas não influencia no processo. As cascas removidas nessa etapa são subprodutos do processo, sendo utilizadas como combustível em caldeiras gerando calor e energia para o processo dentro da fábrica.

Fragmentação: as toras passam por um picador que possui lâminas que giram em alta velocidade transformando-as em pequenas lascas, os chamados cavacos.

Classificação dos cavacos: após a fragmentação obtém-se cavacos desuniformes, por isso para eliminar impurezas e garantir a homogeneidade e padronização dos painéis, os cavacos passam por peneiras onde os maiores retornam para o picador.

Tratamento de cavacos: para facilitar o desfibramento, os cavacos selecionados nas peneiras, primeiramente passam por uma lavagem com água a 80ºC para pré-aquecer, em seguida passam por uma etapa de digestão (cozimento)

a vapor que amolece a lignina presente nas camadas intercelulares, o que resulta numa polpa de fibras mais resistente e flexível. Os cavacos são amolecidos para facilitar a próxima operação, reduzindo o consumo energético. A água é removida por uma purga antes da próxima etapa.

Desfibramento: a produção de fibras na fabricação de MDF é uma das principais etapas. Os cavacos seguem para o desfibrador em esteiras, sendo estas compostas por discos estriados que giram com alta velocidade em sentidos opostos. O interior do disco tem seu tamanho reduzido no centro até sua parte externa. A alimentação central constante dos cavacos força a sua passagem pelas cavidades de diferentes tamanhos, o que os reduz à fibra da madeira.

Antes da secagem é adicionada no transporte das fibras uma mistura que contém: resina uréia-formaldeído, que aglutina as fibras na prensa; o catalizador (sulfato de amônia) faz com que a resina possa reagir no instante exato; e a parafina, que melhora a resistência do MDF contra a umidade. Na fábrica estudada, o material é composto por: 83 a 84% fibra de madeira, 8 a 9% de resina, 0,5% de parafina, 0,2% de catalizador e cerca de 6 a 8 % de água.

Secagem: as fibras seguem em esteiras para os secadores, onde é removido o elevado teor de umidade através de vapor à 134ºC. Nessa etapa ocorre uma perda de 5% da resina, onde esta começa a reagir nas fibras a partir de 60ºC.

Formas: após a secagem inicia-se a formação do painel com o assentamento das fibras secas em uma esteira, pelo efeito da gravidade e é formando um colchão na largura desejada para os painéis. Esta manta é cortada (no comprimento) por lâminas e encaminhada para a pré-prensagem;

Prensagem: inicialmente é feita uma pré-prensagem para remover o excesso de ar entre as fibras, evitando possíveis deformações e deslizamentos das fibras do colchão durante a prensagem. Em seguida, o colchão passa pela prensa que contém cilindros que aplicam altas pressões sobre o colchão, deixando-o na espessura desejada. Também ocorre injeção de vapor que permite um aquecimento praticamente instantâneo de mais de 200ºC, resultando na ligação das fibras através da cura eficiente da resina.

Corte: quando sai da prensa, uma placa contínua é cortada por serras, que se movimentam em ângulo para não interromper o fluxo de saída constante da prensa e assim obtêm-se os painéis individuais.

Resfriamento: é realizado para evitar variações dimensionais da chapa após o aquecimento que ocorreu na prensagem, nessa etapa o painel pode possuir até 1,5 mm da sua espessura normal. A operação de resfriamento pode levar até 72 horas em temperatura ambiente, sendo que neste período ocorre a estabilidade da umidade interna e das propriedades físicas do MDF.

Lixamento e corte: o lixamento é a preparação da superfície das chapas para o acabamento, deixando-a lisa. O corte dos painéis é realizado conforme o padrão comercial estabelecido pela empresa, em seguida são embalados em *pallets*, quando o painel for comercializado cru, ou encaminhados para a aplicação de revestimento.

Revestimento: após o lixamento os painéis podem ou não receber revestimento, conforme o produto desejado. Nesta etapa de revestimento é adicionado novamente uma camada de resina uréia-formaldeído para auxiliar na colagem do papel decorativo, através da prensagem a frio na chapa. O processo também pode incluir a utilizado da resina melamina-formaldeído que tem a função de aumentar a resistência do painel contra a umidade.

O processo de produção do MDP tem operações similares ao processo produtivo de MDF, a grande diferença é que o MDF utiliza fibra de madeira em sua composição e o MDP utiliza fibra e partícula de madeira (em tamanhos distintos).

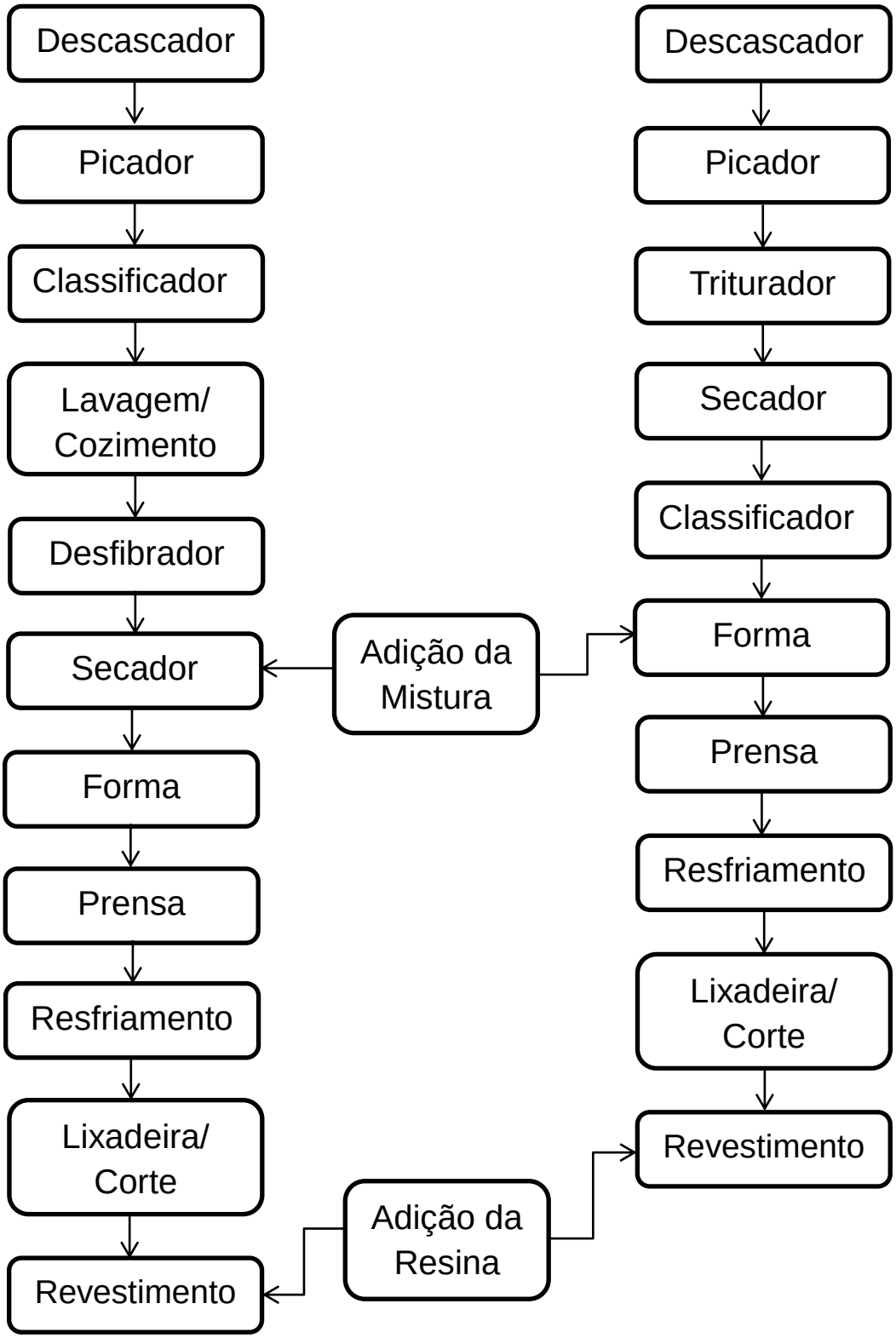
Na produção de MDP, as toras são transformadas em cavacos e logo em partículas com tamanhos distintos. Logo seguem em esteiras para o secador, onde a umidade é reduzida até aproximadamente 2%. Após o secador as partículas seguem para um classificar que separa as partículas finas e grossas. As partículas muito grandes voltam para o processo onde são reduzidas de tamanho.

A mistura com resina uréia-formaldeído, catalizador e parafina é adicionada entre a separação das partículas e as formas através de tubos que pulverizam esta mistura no transporte das partículas.

Nas formas, as partículas formam três camadas, onde as grossas ficam na camada interna e as mais finas nas camadas externas para melhor acabamento das superfícies. O restante do processo é idêntico ao do MDF.

A Figura 5 ilustra o processo produtivo do MDF ao lado esquerdo, e ao lado direito está, o processo de produção do MDP.

Figura 5 - Fluxograma do processo produtivo do MDF (esquerda) e do processo produtivo do MDP (direita).



Fonte: Própria autoria, 2014.

5.2 Liberação de formol

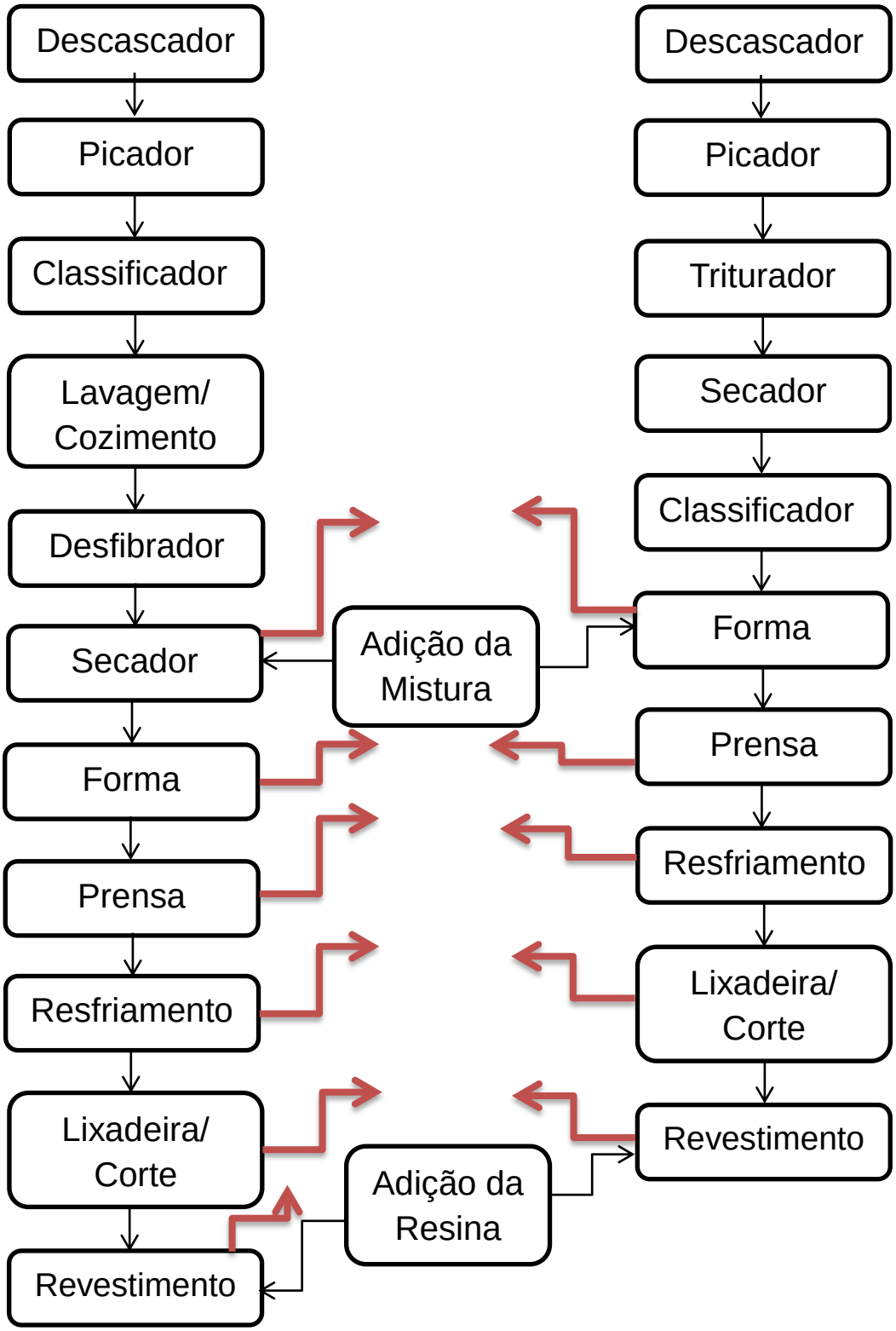
A resina uréia-formaldeído é utilizada em 90% das indústrias de painéis brasileiras devido ao seu baixo custo e pelo fato de reagir rapidamente no processamento. Esta é, a segunda matéria-prima principal deste setor, ficando atrás somente da madeira. Devido à utilização desta resina e pelo emprego de altas temperaturas para favorecer a aglutinação, ocorre liberação de formol no ambiente fabril e, além disso, os painéis prontos produzidos com estas resinas também continuam liberando formol, enquanto estocados na empresa (CHIPANSKI, 2006).

A Fibraplac realiza o controle de emissões de formol para o ambiente através de um equipamento importado e portátil, denominado Medidor InterScan. A coleta de dados de emissões é feita em 45 pontos estratégicos da área fabril. Esse controle é realizado semanalmente e no final de cada mês é obtida a média das emissões para controle interno da empresa.

A empresa produz painéis na categoria E2 da Norma Europeia, que permite emissões de até 0,3 ppm de formaldeído na produção e pelo produto pronto, então além do controle de emissões na produção, também são realizados testes no laboratório de controle de qualidade para certificar que o produto depois de pronto emite até esse limite estabelecido. Esse teste já foi descrito no item 3.5 e é denominado Perforator ou Reação de Hantzschen. A empresa segue as normas da ABNT para garantir a qualidade de seus produtos e a saúde de seus colaboradores, sendo estas a NBR-15316-2 e a NBR-14810-2. A fiscalização para o cumprimento destas normas é realizada por uma empresa terceirizada especializada em engenharia e gestão de programas de qualidade, meio ambiente e inovação.

Na Figura 7 é possível visualizar as etapas do processo produtivo do MDF (fluxograma à esquerda) responsáveis pela liberação de formol para o ambiente. Ao lado direito da mesma Figura está representado o diagrama de blocos do processo produtivo de MDP com destaques em vermelho nas etapas que liberam formol para o ambiente.

Figura 6 - Fluxograma do processo produtivo do MDF (esquerda) e MDP (direita) com destaque em vermelho nas etapas que liberam formol.



Fonte: Própria autoria, 2014.

De acordo com os digramas de blocos do processo produtivo do MDF e do MDP apresentados acima são destacadas as principais etapas com emissões de formol, sendo estas: apenas na linha de MDF, na secagem e para ambas as linhas, nas formações dos colchões, nas prensagens, nos resfriamentos, nos lixamentos e nas serragens, no revestimento (quando houver) e no setor de expedição.

Como já dito anteriormente, para a produção de MDF a mistura contendo resina com os demais compostos são adicionados junto ao secador cilíndrico, onde nesta operação ocorre perda de aproximadamente 5% da resina contendo formol para o ambiente pelo fato de haver adição de vapor com temperaturas de até 163ºC, sendo o formol um composto volátil à altas temperaturas. O secador encontra-se no pátio da empresa e contém um lavador de gases na saída do equipamento para controle de emissões. Salienta-se que este lavador não elimina totalmente o formol do vapor oriundo do secador e assim grandes concentrações deste poluente são liberados para o ambiente. Para a empresa, o secador não é considerado um problema ocupacional, pelo fato de estar ao ar livre e ser um equipamento com uma altura considerável, o que permite que as emissões não atinjam os trabalhadores deste setor. Neste local não é realizado o controle de emissões de formaldeído pela empresa.

Para produção de MDP, a mistura contendo a resina é adicionada na formação do colchão dentro do pavilhão da empresa através de tubulações que pulverizam a mistura junto às partículas de madeira, porém neste equipamento não são utilizados altas temperaturas ou altas pressões. Sendo assim, nesta etapa de produção, as liberações de formol para o ambiente atualmente não são consideradas de risco para os trabalhadores, estando no limite da legislação que a empresa segue.

Na formação do colchão para produzir MDF também não ocorre utilização de altas temperaturas ou pressões, com isso as emissões de formol neste setor são similares ao setor de formação do MDP.

A grande problemática na produção de ambos os painéis, em relação à emissão de formol, são as prensas. Pelo fato destes equipamentos se encontrarem dentro do pavilhão da empresa, e operarem a altas pressões e temperaturas, para deixar os produtos com a espessura desejada, acabam dissipando formol para o ambiente. Neste setor encontra-se um sistema de exaustores de gases juntamente com um sistema de lavadores de gases para amenizar as emissões de formol à

atmosfera. Mesmo com esses dois sistemas de controle de emissões operando em conjunto não ocorre a captura eficiente do formol para garantir a saúde ocupacional dos trabalhadores. No sentido de contornar esse problema, em 2014, a empresa providenciou o isolamento desta etapa produtiva para evitar o acesso à esta área por funcionários que não possuam uma vestimenta adequada e demais EPIs. Quando necessário a entrada de trabalhadores para realizar manutenção ou caso ocorra algum imprevisto, o funcionário deverá usar macacão específico, luvas, óculos e máscara com filtro de carvão ativado como determinado pelo Ministério do Trabalho. Com estas providências, a empresa visa minimizar o contato dos trabalhadores com o formol, garantindo a segurança ocupacional dos funcionários.

Nas áreas de resfriamento, lixamento e corte, existe um sistema de exaustão que é responsável pelo envio de corrente gasosa para um sistema de filtros de mangas. Particularmente este filtro é usado para reter o material particulado que fica em suspensão no ambiente interno da fábrica, mas ao mesmo tempo que faz a exaustão de corrente gasosa, também acaba removendo para o exterior uma certa concentração de formol do ambiente interno da fábrica. Considerando que coletor de partículas não retém formol, este fica disperso na atmosfera.

Quando é realizado o revestimento nos painéis crus, novamente é adicionado a resina, porém o tipo de resina utilizado aqui é a melamina-formaldeído pois esta confere ao produto final maior resistência a umidade. Neste setor eventualmente perde-se resina durante a utilização por vazamentos durante o processo de aplicação. Em casos de vazamentos, a empresa dispõe de tanques (corredores) de contenção para reter a resina contendo formol, encaminhando esta para a estação de tratamento de efluentes, caso esteja líquida. Se estiver em estado sólido este resíduo rico em formol é encaminhado para uma empresa terceirizada que o direciona para aterros sanitários específicos. É importante destacar uma característica desta resina, é que ela aceita até 200% de água ocorrendo solidificação rapidamente, perdendo o seu valor no processo produtivo.

O setor de embalagem do produto final também é responsável por emitir formol consideravelmente acima do limite permitido. Neste ambiente fabril é utilizado apenas sistema de exautores de gases, sendo que a empresa está providenciando expansão de tal sistema em virtude das altas concentrações de formol no ambiente.

Para se ter uma idéia dos níveis de concentração de formol em alguns setores da fábrica, a Tabela 4 apresenta os valores médios de emissões de formol

nos anos de 2013 e 2014 da empresa Fibraplac, sendo 2014 dados coletados até de agosto. Considerando os 45 pontos escolhidos para realizar tais medições.

Tabela 4 - Médias das emissões de formol no ambiente fabril.

Pontos de Medições	2013 (ppm)	2014 (ppm)
Formadora MDF1 LD	0,27	0,18
Pré-Prensa MDF1 LD	0,51	0,27
Laboratório	0,24	0,18
Sala de Controle MDF1	0,2	0,17
Prensa MDF1 LD	0,72	0,51
Serra MDF1	0,49	0,31
Resfriador MDF1	0,41	0,39
Corte de Amostras de Labor.	0,42	0,41
Resfriador MDF1 LE	0,45	0,43
Serra MDF1 LE	0,62	0,4
Meio da prensa MDF1 e MDP	0,88	0,58
Pré-Prensa MDF1 LE	0,63	0,41
Formadora MDF1 LE	0,42	0,27
IMAL MDP	0,35	0,26
Formadora MDP LE	0,31	0,23
Pré-Prensa MDP LE	0,33	0,23
Sala de Controle MDP	0,25	0,16
Prensa MDP LE	0,64	0,56
Serra MDP LE	0,55	0,46
Caçamba de rejeito MDP	0,46	0,44
Resfriadores MDP e MDF2	0,43	0,44
Prensa MDF2 LD	0,52	0,59
Sala de Controle MDF2	0,23	0,19
Pré-Prensa MDF2 LD	0,29	0,28
Formadora MDF2 LD	0,27	0,26
Formadora MDF2 entrada	0,25	0,25
Formadora MDF2 LE	0,28	0,26
Pré-Prensa MDF2 LE	0,33	0,31
Prensa MDF2 LE	0,46	0,51
Serra MDF2 LE	0,36	0,36
Resfriadores MDF2 LE	0,33	0,35
Lixadeira MDF1	0,3	0,3
Embalagem MDF1	0,26	0,29
Lixadeira MDP	0,32	0,34
Embalagem MDP	0,35	0,38
Embalagem MDF2	0,35	0,38
Lixadeira MDF2	0,3	0,33

Continuação Tabela 4 - Médias das emissões de formol no ambiente fabril.

Pontos de Medições	2013 (ppm)	2014 (ppm)
Lixadeira 4	0,22	0,25
Expedição	0,22	0,25
Estoque	0,29	0,32
Revest. Meio da linha 2 e 3	0,22	0,26
Revest. Meio da linha 1 e 5	0,22	0,24
Revestimento Linha 4	0,32	0,3
Impregneção entrada	0,25	0,27
Impregneção saída	0,25	0,27

Fonte: EMPRESA FIBRAPLAC, 2014.

Pode-se verificar observando a tabela acima, que setores como a caçamba de rejeitos de MDP também emitem concentrações de formol acima de 0,3 ppm, permitido pela legislação. Neste setor de caçamba, por exemplo, não existem medidas corretivas relacionadas à exposição ao formol. Um possível isolamento, desta caçamba e utilização de EPIs adequados minimizaria o contato dos trabalhadores com tal composto químico.

Comparando-se os dados anuais, verificou-se que a empresa está preocupada com as emissões de formol, visto que ocorreu uma diminuição de liberação de formol em praticamente todos os setores no ano de 2014 quando comparado com o ano de 2013. Isto se deve às medidas de isolamento de áreas específicas responsáveis pela maior parte de liberação de formol, como exemplo a prensa e a melhoria os sistemas de exaustão. Entretanto, deve-se salientar que a etapa de secagem de MDF, apesar de não possuir pontos de monitoramento de emissão de formol, apresentou-se como uma operação que deveria possuir algum sistema de controle de emissão de vapores contendo formol visto que do total de resina adicionada na entrada do mesmo, 5% desta é perdida durante a operação de secagem. Em vista disso, no item 5.4.3 é proposto um sistema de controle de emissão de vapores que poderá auxiliar na redução ou prevenção de liberação do formol para a atmosfera.

5.3 Alternativas para minimizar os riscos à saúde e a poluição ambiental

5.3.1 Possível alteração na relação molar da resina uréia-formaldeído

Como já citado anteriormente, a empresa em questão produz painéis na categoria E2 da Norma Europeia, que permite emissões de até 0,3 ppm de formaldeído na produção e no produto pronto, sendo que a melhor categoria é a E1 com emissões de até 0,1 ppm. Segundo a NBR 15316-2, é possível alcançar a categoria E1 alterando a proporção da resina uréia-formaldeído de 1:1,3 (mol de uréia por mol de formol) que gera um painel de categoria E2, para 1:1 o que representaria maior segurança no processo produtivo de painéis.

Segundo CHIPANSKI (2006), a diminuição nas relações molares das resinas uréia-formaldeído, melamina-formaldeído e fenol-formaldeído têm sido o fator principal para redução da emissão do formaldeído. Mas há ainda fatores que se contrapõem e requerem ajustes para assegurar a cura e as propriedades do painel, pois com menos formaldeído a velocidade de cura é menor. Alguns destes ajustes incluem adição de sais neutros e melamina às resinas uréicas.

De acordo CONNER (1996), a diminuição da relação molar produz resinas com menor tolerância a variações de processo de fabricação de painéis e geralmente com piores propriedades físicas e estruturais dos painéis.

Na Europa, a maioria das resinas utilizadas tem uma relação molar entre 1,05 e 1,20, podendo ser até de 0,90:1,00. Outra tecnologia para diminuição da emissão de formol pelos painéis é a adição de soluções sequestrante de formol, juntamente com a redução da proporção molar, tendo assim maior eficiência em relação a alternativa de produzir diretamente com a resina de menor relação molar. A experiência na Europa tem mostrado que ao invés de se usar uma resina de relação molar mais baixa, pode-se atingir melhores resultados usando um sistema de igual relação molar final, porém sendo a combinação de uma resina de relação molar alta com um sequestrante de formol, segundo CHIPANSKI (2006) apud ALEXANDROPOULOS *et al*. (2005).

5.3.2 Possível substituição da formulação da resina

A preocupação com a utilização das resinas sintéticas uréia-formaldeído para produzir painéis é o fato de que ela deriva de matérias-primas fósseis, por exemplo,

o metanol para a obtenção do formol. Uma alternativa indicada para diminuir o impacto ambiental é a utilização de resinas derivadas de fontes renováveis, por exemplo, os taninos. Este já é utilizado com sucesso para a produção de painéis em países como a Austrália, e mesmo que estas resinas precisem de uma adição de formaldeído, ela é feita em escala consideravelmente reduzida comparada as resinas sintéticas. O tanino é um polímero natural, encontrado em diversas espécies arbóreas e cascas (CHIPANSKI, 2006).

Existem atualmente no Brasil adesivos comercializados para fabricação de painéis e caixas de papelão que são formulados com o extrato da acácia negra através de reação de polimerização com o formol. É evidente o nível mais baixo de formaldeído livre comparativamente aos adesivos sintéticos (CHIPANSKI, 2006).

Segundo Piccini (2010), resinas à base de taninos ou taninos-formaldeídos (TF), vêm sendo utilizadas na produção de painéis na Alemanha, os quais apresentam excelentes resultados nas propriedades de resistência mecânica. A problemática destas resinas é a sua alta viscosidade, dificultando muito a sua aplicação na linha de produção. Para a sua utilização no processo, é preciso diminuir a sua viscosidade, mas com isso aumenta-se o custo de processamento.

5.3.3 Implementação de um incinerador catalítico na saída do secador

Para reduzir as emissões atmosféricas de formaldeído no secador da linha de MDF, lembrando que somente nesta linha é adicionada resina na entrada do secador, a concentrações adequadas, ou na tentativa de prevenir a liberação deste, sugere-se a utilização de um incinerador catalítico na saída do equipamento em questão (LIMBERGER, 2011).

O processo da incineração catalítica transforma a matéria orgânica em dióxido de carbono e água em condições mais suaves de temperatura, na faixa de 200°-450°C. Essa característica de processo torna a incineração catalítica economicamente atraente porque emprega uma menor quantidade de combustível auxiliar e ao mesmo tempo reduz a formação dos óxidos de nitrogênio.

As misturas enviadas ao incinerador devem conter concentrações de compostos voláteis abaixo dos 25% do limite inferior de explosividade e quantidade

suficiente de oxigênio para incinerar o compostos voláteis e o combustível auxiliar (KASKANTZIS, 1995).

As instalações de incineração catalítica são basicamente constituídas de um reator contendo o catalisador, um queimador ou aquecedor elétrico para o pré-aquecimento dos gases de entrada à temperatura adequada de incineração catalítica e um trocador de calor necessário para recuperar parte da energia contida nos gases de saída (JENNINGS, 1984).

Os catalisadores empregados são preparados com metais nobres do grupo da platina e impregnados sobre suportes cerâmicos ou metálicos. Esses catalisadores dispostos em leitos fixos ou estruturados na forma de colmeias, apresentam limitações quanto a temperatura máxima de operação. A maioria dos catalisadores opera na temperatura máxima de 650°C quando começa a volatilização dos elementos ativos do catalisador com grande perda de atividade e redução de sua vida útil (HECK, 1988). O tempo de vida útil de um catalisador pode variar entre 3 e 5 anos, quando não apresentar deposição de partículas em seu leito. O catalisador utilizado na incineração catalítica é também um resíduo sólido gerado que pode ser enviado para o fabricante para regeneração (NAGAMATO *et al*, 2010).

O processo de incineração catalítica tem como principais vantagens as altas eficiências de controle, o baixo consumo de energia auxiliar e os baixos custos de operação comparadas com outras técnicas, baixas emissões de monóxido de carbono e óxidos de nitrogênio, a recuperação de energia através de trocadores de calor e as instalações compactas que podem ser dispostas nos tetos dos prédios industriais, liberando mais espaço para as linhas de produção. As desvantagens são a necessidade de diluição das correntes contendo alta concentração de VOC, a reposição e a desativação irreversível do catalisador A eficiência da incineração catalítica está na ordem de 95% a 98% (NAGAMATO *et al*, 2010).

Segundo BALBINOT (2010), a incineração catalítica é recomendada quando as substâncias voláteis estão presentes em altas concentrações e com pouco material particulado, sendo obtidas eficiências em torno de 99,5% de remoção do poluente.

6. CONCLUSÕES

Em termos de liberação de formol, o setor madeireiro mesmo não sendo uns dos maiores responsável por emissões deste poluente, ainda assim merece destaque em virtude do crescimento exponencial desse setor e pelos altos volumes de produção. Tal evidência está também associada ao aumento anual de exportação.

Em particular, tem-se a preocupação com a saúde dos trabalhadores, os quais estão em constante exposição a uma matéria-prima considerada carcinogênica pela Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC, 2006), e que é o segundo maior insumo utilizado na produção de painéis.

Considerando que a empresa estudada encontra-se em momento de adaptação devido à implantação de mudanças nas linhas de produção de MDF e MDP para obtenção de selos de certificação para poderem atingir o mercado externo, é importante que se leve em consideração a segurança e a saúde ocupacional dos trabalhadores da empresa.

Neste sentido, com a realização do presente trabalho, foi possível verificar que não há necessidade de recuperar ou reutilizar o formol no processo, pois não ocorre perdas deste composto, também a possibilidade de implantação de um incinerador catalítico na saída de vapores do secador, minimizando a emissões de poluentes como o formol, a possível substituição da resina uréia-formaldeído por resinas naturais como as fabricadas a partir de taninos e/ou diminuição da proporção molar uréia-formaldeído de 1:1,3 para 1:1, podendo assim considerar a fabricação de painéis na categoria E1 vigente na norma NBR.

Referências bibliográficas

ABNT**. Associação Brasileira de Normas Técnicas.** NBR 15316-3: Chapas de fibras de média densidade. Rio de Janeiro, 2006.

ABIPA. **Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira**, 2014. Disponível em: www.abipa.org.br. Acesso em junho de 2014.

AZEVEDO, L.F.S.; PAIVA, A.E.M. **Influência da Adição da Resina Uréia-Formaldeído no Processamento de Painéis de MDF à base de fibras do coco babaçu e eucalipto.** Instituto Federal do Maranhão, VII CONNEPI, Palmas, TO, 2012.

BACHA, C.J.C.; BRUGNARO, R.; FILHO, G.B.C. MADEIRA: **A indústria de painéis.** Revista AgroAnalysis. Disponível em: <http>//www.agroanalysis.com.br/. Acesso em outubro de 2014.

BALBINOT, A. **Poluição olfativa –composição, mensuração e técnicas de tratamentos de efluentes com potencial odorífico.** 2010. 44p. Trabalho de Conclusão (Curso de Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

BARBOSA, A.M. **Avaliação da Qualidade dos Painéis de MDF Comercializados a Região de Pelotas**. 2010. 68p. Trabalho de Conclusão (Curso de Engenharia Industrial Madeireira). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2010.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária.** Resolução RDC nº 36, de 01 de junho de 2009. Dispõe sobre a exposição, a venda e a entrega ao consumo de formol ou de formaldeído (solução a 37%) em drogaria, farmácia, supermercado, armazém e empório, loja de conveniência e drugstore. Publicada no Diário Oficial da União de 18 de Junho de 2009, Seção 1, p. 47.

CHIPANSKI, E.R. **Proporção para Melhoria do Desempenho Ambiental da Indústria de Aglomerado no Brasil.** 2006. 209p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrarias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

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

CONNER, A. H. **Urea formaldehyde resins**. In: SALAMONE, Joseph C.

Polymeric materials encyclopedia. Boca Raton, FL: CRC Press, 1996. p. 8496-8501. v. 11.

COPENOR. **Ficha de informações de segurança de produtos químicos. Formol**, 2009. Disponível em: www.copenor.com.br. Acesso em maio de 2014.

EMERSON, D. W. V. **Métodos de análise de formaldeído e otimização da Reação de Hantzschen.** 2010. 91p. Trabalho de Conclusão (Curso de Engenharia Industrial Madeireira) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

FREITAS, F. A. **Uso do conceito prevenção da poluição no contexto da Norma ISO 14001: O caso da fábrica de fertilizantes nitrogenados da Petrobrás.** 2005. 203P. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Gestão) – Curso de Mestrado em Sistemas de Gestão, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2005.

GOLDENBERG, M. **A arte de pesquisar: como fazer pesquisa qualitativa em Ciências Sociais.** 7.ed. Rio de Janeiro: Record, 2003.

HECK, R. M., 1988, **Air Pollution Contrai***,* 81st APCA Annual Meeting and Exhibition, Texas, June 19, pp 30 – 36, 1988.

HSDB. **Hazard Substances Data Base** – Formaldehyde. Disponível em: toxnet.nlm.nih.gov. Acesso em agosto de 2014.

INDUKERN. **Ficha de informações de produtos químicos. Formol**, 2008. Disponível em: www.indukern.com.br. Acesso em maio de 2014.

KOSCHEVIC, M.T.; SANTOS, N.Q.; ROVARIS, S.L. **Estudo acerca da utilização de cinza de caldeira e carvão ativado para a adsorção de poluentes do efluentes resina uréia-formol de uma indústria moveleira do município de Medianeira-PR.** 2013. 60p. Trabalho de Conclusão (Curso de Tecnologia em Gestão Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2013.

JENNINGS, S. M.,.**Catalytic !ncineration for Contra/ of Volatile Organic Compound Emission,** la ed., Noyes Publication, New Jersey, USA, 1984.

LADEIRA, C.A.F. **Biomarcadores genotóxicos e polimorfismos genéticos em trabalhadores expostos a formaldeído**. 2009. 50p. Dissertação (Mestrado em Biologia Molecular Humana) – Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Portugal, 2009.

LIMBERGER, D.C.H. **Processos de recuperação, reuso e destinação do formol em laboratório de anatomia.** 2011. 99p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de

Processos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

LORENZINI, S. **Efeitos adversos da exposição ao formaldeído em cabelereiros.** 2012. 77p. Tese (Doutorado em Medicina) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Pneumológicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

NAGAMATO, R.J. et al. Tratamento de Compostos Orgânicos Voláteis pela Técnica da Incineração Catalítica. **Revista Eletrônica Multidisciplinar Pindorama do Instituto Federal da Bahia – IFBA.** Nº 01, Ano I, Agosto. 2010.

PEREIRA, N.S. **Degradação anaeróbica de formaldeído em reator operado em bateladas sequências contendo biomassa imobilizados.** 2007. 85p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2007.

PICCINI, A.A.P. **Efeito do teor de sólidos e proporção de catalisador nas propriedades da resina à base de tanino de Acácia Negra.** 2010. 48p. Trabalho de Conclusão (Curso de Engenharia Industrial Madeireira). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2010.

RAZERA, D. L. **Estudo sobre as interações entre as variáveis do processo de produção de painéis aglomerados e produtos moldados de madeira.** 2006. 157p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

ROCHA, C. M. B., SOBRAL, A. V. C. **Estudo de caso de uma indústria têxtil de Fortaleza sob a perspectiva da gestão ambiental**. XXIII ENANGRAD. Bento Gonçalves, RS, 2012.

SILVA, D.A.P. **Avaliação do ciclo de vida da produção do painel de madeira MDP no Brasil.** 2012. 207p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

SILVA, J.C. **Sinal verde para móveis de eucalipto**. Revista da madeira, Curitiba, edição especial-eucalipto, p.136-138, 2003.

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.

WEBER, C. **Estudo sobre viabilidade de uso de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados.** 2011. 90p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

YIN, R. K**. Estudo de Caso: Planejamento e Métodos.** Trad. Daniel Grassi 3 ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2005. 212p.

ANEXOS

ANEXO A: Fotografia aérea da empresa Fibraplac.

Fonte: Disponibilizado pela Empresa, 2014.

ANEXO B: Fotografia do secador da linha de MDP.

Fonte: Disponibilizado pela Empresa, 2014.

ANEXO C: Fotografia da dosagem da mistura química.

Fonte: Disponibilizado pela Empresa, 2014.

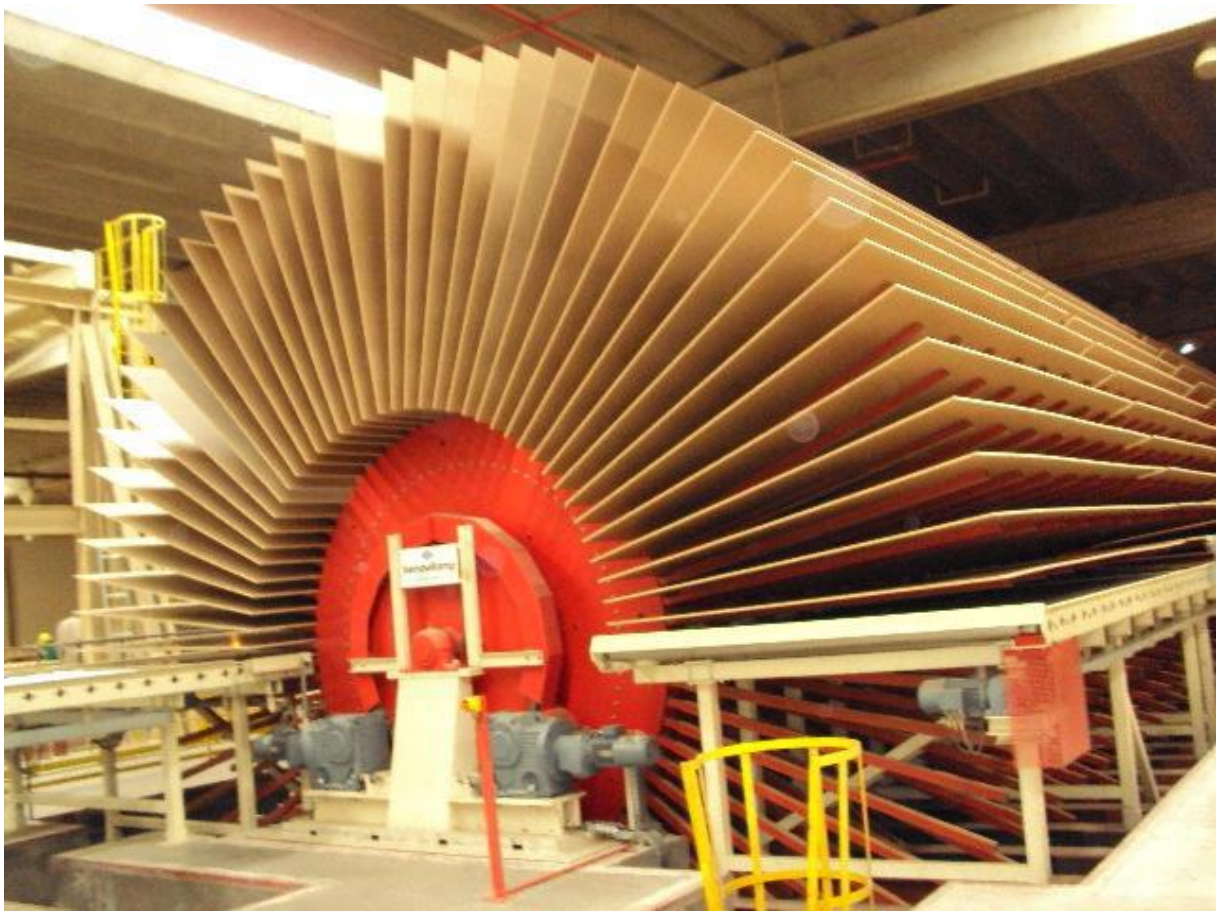
ANEXO D: Fotografia do colchão de partículas do MDP.

Fonte: Disponibilizado pela Empresa, 2014.

ANEXO E: Fotografia da prensa contínua de MDP antes do fechamento da área.

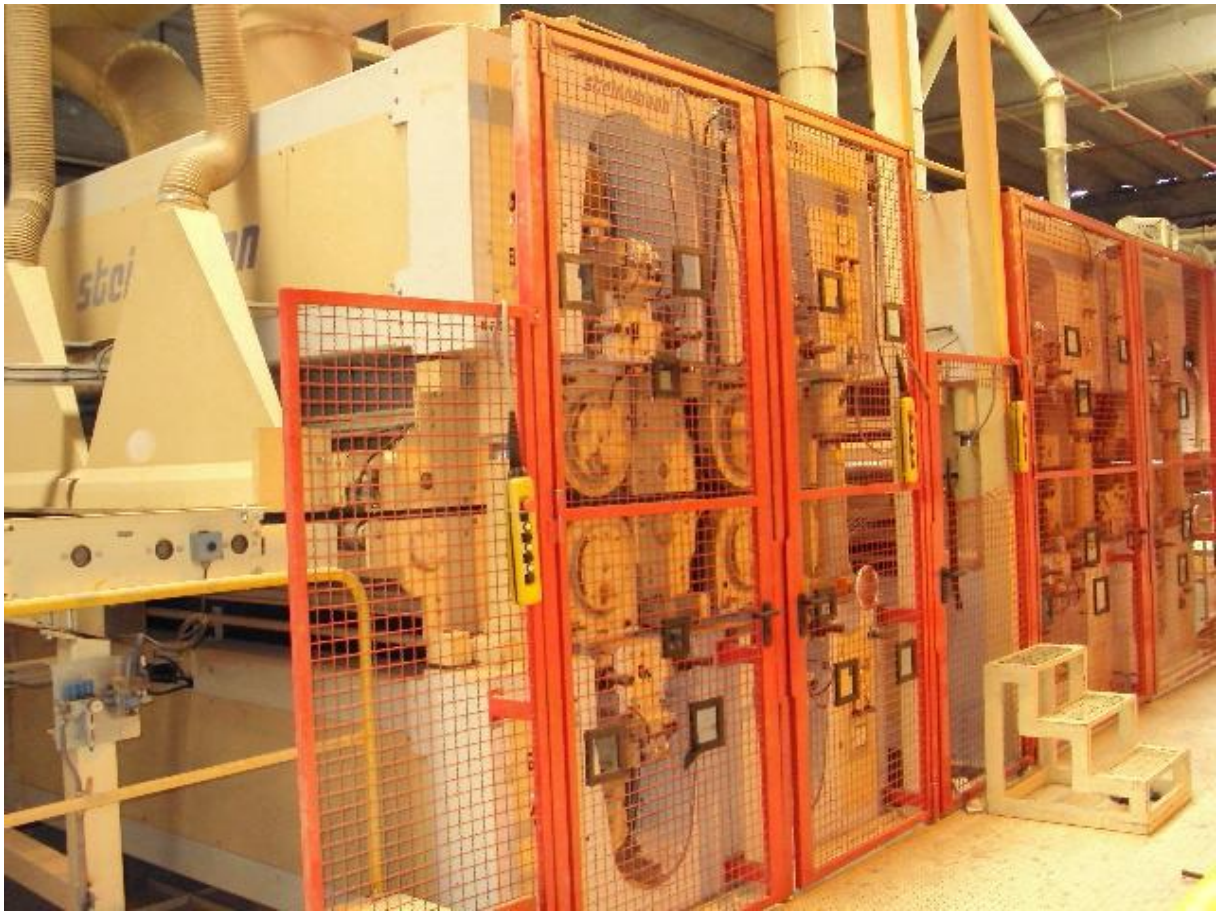
Fonte: Disponibilizado pela Empresa, 2014.

ANEXO E: Fotografia dos resfriadores.



Fonte: Disponibilizado pela Empresa, 2014.

ANEXO F: Fotografia das lixadeira/corte.



Fonte: Disponibilizado pela Empresa, 2014.

ANEXO G: Fotografia da embalagem.

Fonte: Disponibilizado pela Empresa, 2014.