

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GUSTAVO MARCATO MOTA

UM ESTUDO SOBRE O PROBLEMA DE CORTE BIDIMENSIONAL COM CHAPAS
MDP EM UMA INDÚSTRIA MOVELEIRA DE MÉDIO PORTE NO PARANÁ

JANDAIA DO SUL

2021

GUSTAVO MARCATO MOTA

UM ESTUDO SOBRE O PROBLEMA DE CORTE BIDIMENSIONAL COM CHAPAS
MDP EM UMA INDÚSTRIA MOVELEIRA DE MÉDIO PORTE NO PARANÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia de Produção, Campus Avançado de Jandaia do Sul, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientadora: Prof. Dra. Juliana Verga Shirabayashi.

JANDAIA DO SUL

2021

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação
Layane Feifer Calixto Janjacomo – CRB 9/1711
Biblioteca do Campus Jandaia do Sul - UFPR

M917 Mota, Gustavo Marcato
Um estudo sobre o problema de corte bidimensional com chapas
MDP em uma indústria moveleira de médio porte no Paraná. / Gustavo
Marcato Mota. Jandaia do Sul, 2021.
59 f. : il. (algumas color.)

Orientador: Prof. Dra. Juliana Verga Shirabayashi.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do
Paraná. Campus Jandaia do Sul. Curso de Graduação em Engenharia de
Produção.

1. Programação linear - Indústria . 2. Otimização combinatória. 3.
Indústria de móveis I. Título.

CDD 519.72



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PARECER Nº 51 - GUSTAVO MARCATO MOTA/2021/UFPR/R/JA
PROCESSO Nº 23075.079917/2019-87
INTERESSADO: @INTERESSADOS_VIRGULA_ESPACO@

TERMO DE APROVAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO.

Título: UM ESTUDO SOBRE O PROBLEMA DE CORTE BIDIMENSIONAL COM CHAPAS MDP EM UMA INDÚSTRIA MOVELEIRA DE MÉDIO PORTE DO NORTE NO PARANÁ

Autor(a): GUSTAVO MARCATO MOTA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do grau no curso de Engenharia de Produção, aprovado pela seguinte banca examinadora.

Juliana Verga Shirabayashi (Orientadora)

Jair da Silva

Marco Aurelio Reis dos Santos



Documento assinado eletronicamente por **JULIANA VERGA SHIRABAYASHI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 23/12/2021, às 16:29, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **MARCO AURELIO REIS DOS SANTOS, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 23/12/2021, às 16:35, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **JAIR DA SILVA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 23/12/2021, às 21:06, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **4150597** e o código CRC **3D41733C**.

Dedico este trabalho a Deus, Nossa Senhora de Lourdes e a todos que me apoiaram durante este período de graduação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pela força e sustendo diário e é claro a Nossa Senhora de Lourdes por sempre passar à frente da minha vida, me abençoando e protegendo.

Não poderia deixar de agradecer a minha amada mãe, pelos conselhos e apoio incondicional, que me ajudaram a crescer e a me tornar quem sou hoje. Agradeço também a todos que amo, e não me deixaram desistir, sem vocês nada disso seria possível.

E por fim, e não menos importante, a minha orientadora Prof. Dra. Juliana Verga, por me orientar e apoiar da melhor forma para conclusão deste trabalho.

“Se A é o sucesso, então A é igual a X mais Y mais Z. O trabalho é X; Y é o lazer; e Z é manter a boca fechada.”

Albert Einstein

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo propor soluções para um dos problemas de grande importância dentro da Pesquisa Operacional, o problema de corte bidimensional, que visa cortar objetos maiores, em itens menores, neste estudo voltado para placas MDP (*Medium Density Particleboard*) de uma indústria moveleira de médio porte, com objetivo de minimizar a perda de material e custos através da construção de padrões de corte. Para tal, este trabalho terá o auxílio de dois *softwares*, CorteBiFur e SketchCut Lite. A partir disso, este estudo é composto pelas seguintes etapas: definição do problema e objetivos; revisão bibliográfica, onde será possível compreender melhor os dois *softwares* utilizados; definição da empresa e dos dados necessários para a realização dos testes; testes computacionais; análises e melhorias das soluções obtidas. Para realização dos testes computacionais nos dois *softwares*, foi escolhido um painel de televisão que utiliza chapas de três diferentes espessuras na sua composição, sendo elas: 12 mm, 15 mm e 25 mm. Além disso, a empresa dispõe de chapas com duas diferentes larguras para a geração dos padrões de cortes, 2200 mm e 1850 mm, aumentando a possibilidade de testes para serem realizados. Ambos os *softwares* obtiveram resultados satisfatórios e aproximados com os da empresa, onde o CorteBiFur obteve uma perda 32% menor e o SketchCut Lite uma perda 33% menor em relação a empresa. Também foi possível gerar o resultado gráfico de cada padrão, facilitando a realização de diferentes análises e comparações.

Palavras-Chave: Corte bidimensional, Indústria moveleira, Pesquisa Operacional; CorteBiFur, SketchCut Lite.

ABSTRACT

This work aims to propose solutions to one of the most important problems in Operational Research, the two-dimensional cutting problem, which aims to cut larger objects into smaller items, in this study aimed at Medium Density Particleboard (MDP) in an industry medium-sized furniture company, with the objective of minimizing the loss of material and costs through the construction of cutting patterns. For this purpose, this work will have the help of two softwares, CorteBiFur and SketchCut Lite. From there, this study composed of the following steps: definition of the problem and objectives; bibliographical review, where it will be possible to better understand the two softwares used; definition of the company and the data necessary to carry out the tests; computational tests; analyzes and improvements of the obtained solutions. To perform the computational tests on the two softwares, a television panel was chosen that uses plates of three different thicknesses in its composition, namely: 12 mm, 15 mm and 25 mm. Moreover, the company has plates with two different widths for the generation of cut patterns, 2200 mm and 1850 mm, increasing the possibility of tests to be performed. Both softwares had satisfactory results and approximate to those of the company, where CorteBiFur had a 32% lower loss and SketchCut Lite a 33% lower loss compared to the company. It was also possible to generate the graphical result of each pattern, facilitating different analyzes and comparisons.

Keywords: Two-Dimensional Cutting, Funitury Industry, Operational Research, CorteBiFur, SketchCut Lite.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – FASES DE ESTUDO DA PO	19
FIGURA 2 – TIPOS DE PROBLEMA DE CORTE	22
FIGURA 3 – CORTE GUILHOTINADO	23
FIGURA 4 – ESTÁGIOS	24
FIGURA 5 – PLACAS MDP	25
FIGURA 6 – INTERFACE CORTEBIFUR	26
FIGURA 7 – EXEMPLO FFD.....	28
FIGURA 8 – EXEMPLO FFDH	29
FIGURA 9 – FAIXAS GERADAS PELO HFF	30
FIGURA 10 – EXEMPLO HFF	31
FIGURA 11 –INTERFACE SKETCHCUT LITE	31
FIGURA 12 – ENQUADRAMENTO DA PESQUISA	32
FIGURA 13 –ETAPAS DA PESQUISA	33
FIGURA 14 – PAINEL DE TELEVISÃO	35
FIGURA 15 – PADRÕES DE CORTE CHAPA 15MM X 2200MM	37
FIGURA 16 – PADRÕES DE CORTE CHAPA 15MM X 2200MM CONTINUAÇÃO .	38
FIGURA 17 – PADRÕES DE CORTE CHAPA 15MM X 1850MM	39
FIGURA 18 – PADRÕES DE CORTE CHAPA 15MM X 1850MM CONTINUAÇÃO .	40
FIGURA 19 – PADRÕES DE CORTE CHAPA 12MM X 2200MM	40
FIGURA 20 – PADRÃO DE CORTE CHAPA 25MM X 1850MM.....	41
FIGURA 21 – PADRÕES DE CORTE CHAPA 12 MM X 2200 MM CORTEBIFUR ..	43
FIGURA 22 – PADRÕES DE CORTE CHAPA 15 MM X 2200 MM CORTEBIFUR ..	44
FIGURA 23 – PADRÕES DE CORTE CHAPA 15 MM X 2200 MM CORTEBIFUR CONTINUAÇÃO	45
FIGURA 24 – PADRÕES DE CORTE CHAPA 25 MM X 1850 MM CORTEBIFUR ..	46
FIGURA 25 – PADRÕES DE CORTE CHAPA 12 MM X 2200 MM SKETCHCUT LITE	48
FIGURA 26 – PADRÕES DE CORTE CHAPA 15 MM X 2200 MM SKETCHCUT LITE	50
FIGURA 27 – PADRÕES DE CORTE CHAPA 15 MM X 2200 MM SKETCHCUT LITE CONTINUAÇÃO	51
FIGURA 28 – PADRÕES DE CORTE CHAPA 25 MM X 1850 MM SKETCHCUT LITE	52

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – TIPOS DE CHAPAS	36
TABELA 2 – ITENS A SEREM CORTADOS.....	36
TABELA 3 – INFORMAÇÕES DOS PADRÕES.....	41
TABELA 4 – RESULTADOS CHAPA 12 MM CORTEBIFUR.....	43
TABELA 5 – RESULTADOS CHAPA 15 MM CORTEBIFUR.....	44
TABELA 6 – RESULTADOS CHAPA 25 MM CORTEBIFUR.....	46
TABELA 7 – RESULTADOS CORTEBIFUR.....	47
TABELA 8 – RESULTADOS CHAPA 12 MM SKETCHCUT LITE.....	48
TABELA 9 – RESULTADOS CHAPA 15 MM SKETCHCUT LITE.....	48
TABELA 10 – RESULTADOS CHAPA 25 MM SKETCHCUT LITE.....	52
TABELA 11 – RESULTADOS SKETCHCUT LITE.....	53
TABELA 12 – ANÁLISE CHAPAS 12 MM.....	54
TABELA 13 – ANÁLISE CHAPAS 15 MM.....	54
TABELA 14 – ANÁLISE CHAPAS 25 MM.....	55
TABELA 15 – ANÁLISE GERAL.....	56

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

FFD	- <i>First Fit Decreasing.</i>
FFDH	- <i>First Decreasing Height.</i>
PO	- Pesquisa Operacional.
PCE	- Problema de Corte e Empacotamento.
HFF	- <i>Hybrid First Fit</i>
MDP	- <i>Medium Density Particleboard.</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 JUSTIFICATIVA	15
1.2 OBJETIVOS	16
1.2.1 Objetivo geral	16
1.2.1.1 Objetivos específicos.....	16
1.3 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 PESQUISA OPERACIONAL	18
2.2 PROGRAMAÇÃO LINEAR.....	20
2.3 PROBLEMA DE CORTE E EMPACOTAMENTO.....	21
2.4 INDÚSTRIA MOVELEIRA.....	22
2.4.1 O Problema de Corte Bidimensional na Indústria Moveleira	23
2.4.2 <i>Medium Density Particleboard</i> (MDP)	25
2.5 SOLUÇÕES PARA O PROBLEMA DE CORTE BIDIMENSIONAL.....	26
3 MÉTODOS DE PESQUISA	32
3.1 ENQUADRAMENTO DA PESQUISA.....	32
3.2 FERRAMENTAS DE COLETA DE DADOS	33
3.3 FERRAMENTAS DE ANÁLISE DOS DADOS.....	33
3.4 FASES DA PESQUISA	35
3.5 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	35
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
4.1 APLICAÇÃO DOS DADOS NO SOFTWARE CORTEBIFUR.....	42
4.1.1 Chapas MDP 12 mm CorteBiFur.....	42
4.1.2 Chapas MDP 15 mm CorteBiFur.....	43
4.1.3 Chapas MDP 25 mm CorteBiFur.....	46
4.1.4 Resultados CorteBiFur	46
4.2 APLICAÇÃO DOS DADOS NO SOFTWARE SKETCHCUT LITE	47
4.2.1 Chapas MDP 12 mm SketchCut Lite.....	47
4.2.2 Chapas MDP 15 mm SketchCut Lite.....	48
4.2.3 Chapas MDP 25 mm SketchCut Lite.....	51
4.2.4 Resultados SketchCut Lite	52
4.3 ANÁLISES DOS RESULTADOS	52

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
REFERÊNCIAS.....	58

1 INTRODUÇÃO

A Pesquisa Operacional (PO) é uma ciência aplicada cujo objetivo é a melhoria nos meios de produção, sendo uma das áreas essenciais na Engenharia de Produção, voltada para resolução de problemas, otimização, tomada de decisão, utilizando modelos matemáticos e simulações para sua resolução. A PO tem sido cada vez mais importante nas organizações, sendo um diferencial com o aumento da competitividade entre as empresas, pois permite descobrir soluções práticas e precisas, ocasionando uma maximização de resultados em diferentes setores.

Arenales et, al. (2015) nos traz diversos problemas voltados a Pesquisa Operacional, sendo um deles, o Problema de Corte e Empacotamento (PCE) que tem como finalidade cortar objetos grandes em unidades menores minimizando o desperdício de material .

O PCE pode ser definido como unidimensional, onde apenas uma dimensão é relevante, por exemplo, bobinas de papel; bidimensional, onde duas dimensões são necessárias para o problema, como chapas de madeira; tridimensionais quando três dimensões estão presentes, por exemplo, espuma para colchões. (CHERRI; VIANNA, 2010).

O problema de corte e empacotamento é classificado como NP-difícil, significando que não existem métodos ótimos para sua resolução em um curto tempo, tendo como alternativa a aplicação de métodos heurísticos, oferecendo uma solução boa em um curto prazo. (CONSTANTINO; JUNIOR, 2002).

Este trabalho apresenta problemas de corte o qual as indústrias moveleiras enfrentam no seu cotidiano. A redução dos custos de produção, desperdícios de materiais e a otimização dos processos, para as empresas, estão ligadas a ótima utilização de estratégias de cortes. Esse tipo de problema é de grande importância para o planejamento da produção em indústrias que possuem em sua produção peças de tamanhos variados, como exemplo, indústrias moveleiras, papelerias, têxtil, onde a otimização nos processos produtivos podem trazer inúmeros benefícios operacionais e econômicos.

Tendo em vista o exposto, esta pesquisa tem como finalidade responder a seguinte pergunta: **“Como gerar planos de cortes visando a redução no desperdício de material e a otimização do processo produtivo de um painel de televisão composto por chapas de material Medium Density Particleboard (MDP) em uma indústria moveleira de médio porte localizada no Paraná?”**.

1.1 JUSTIFICATIVA

As restrições impostas pelo período atual, combinado com o aumento do dólar americano e o aumento no valor dos insumos e frete internacional, entre outros fatores, resultaram em uma crise no abastecimento de matérias-primas nos mais diversos setores do processo produtivo mobiliário. Com isso, houve uma redução no ritmo de produção de peças na indústria nos últimos meses, que, mesmo tendo uma demanda alta de pedidos, não conseguem atendê-los, resultado da falta de insumos, e até mesmo da falta de qualidade na mão de obra (ABIMÓVEL, 2021).

Diante o exposto, é possível notar que estudos voltados à otimização do processo produtivo no setor moveleiro são de grande importância. O problema de corte bidimensional traz soluções para o corte de objetos em itens menores nas quantidades solicitadas, reordenando geometricamente os itens para que tenha uma mínima perda de material, levando a minimização nos custos de produção.

A escolha deste tema também é fundamental para fins acadêmicos, pois os assuntos como problemas de corte tratados na PO são abordados durante o curso de Engenharia de Produção, sendo aqui, trazidos na prática. O estudo proposto também poderá auxiliar em pesquisas futuras, não só de cortes bidimensionais, mas também para outros problemas relacionados às áreas de otimização.

1.2 OBJETIVOS

Neste capítulo serão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos desta pesquisa.

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é a realização de testes utilizando dois diferentes *softwares* para a geração de padrões de cortes a serem aplicados no problema de corte bidimensional de placas MDP, com diferentes espessuras, para a fabricação de painéis de televisão, visando à construção de novos padrões que minimizem a perda de materiais, em uma indústria moveleira de médio porte.

1.2.1.1 Objetivos específicos

Para conseguir o resultado proposto no objetivo geral, fazem necessários os seguintes objetivos específicos:

1. Estudar diferentes métodos encontrados atualmente voltados para a geração de padrões de corte bidimensional.
2. Analisar a empresa moveleira escolhida e coletar os dados necessários para a realização do estudo.
3. Realizar os testes nos softwares CorteBiFur e SketchCut Lite, utilizando um painel de televisão, que tem na sua composição chapas MDP de diferentes espessuras.
4. Prescrever novas estratégias de elaboração de padrões de corte.
5. Avaliar e comparar os dados obtidos através dos testes realizados.

1.3 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

Essa monografia foi estruturada em 5 capítulos, conforme o descrito a seguir:

O Capítulo 1 se inicia com uma introdução e contextualização do tema a ser estudado, seguido da problemática da pesquisa, sua justificativa e os objetivos geral e específicos.

O Capítulo 2 é constituído pela revisão da literatura, com um breve histórico da Pesquisa Operacional, sua definição, conceitos e fases de implementação; introdução sobre a programação linear; conceitos sobre o problema de corte e suas classificações; introdução sobre a indústria moveleira no Brasil e o problema de corte bidimensional; a classificação do material utilizado no estudo; e uma introdução nos métodos utilizados pelos softwares escolhidos para a realização dos testes.

O Capítulo 3 apresenta o enquadramento da pesquisa; as ferramentas utilizadas para a coleta e análise de dados; as etapas percorridas para cumprir os objetivos propostos; e por fim a caracterização da pesquisa, onde é apresentada a empresa escolhida, bem como os dados para a realização do estudo.

No Capítulo 4, serão apresentados os resultados dos testes realizados através do CorteBifur e SketchCut Lite, e a comparação com os praticados atualmente pela empresa.

E no Capítulo 5 um resumo com os principais resultados, visando o enquadramento nos objetivos propostos, assim como sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentados conceitos necessários para a compreensão e resolução do estudo proposto.

2.1 PESQUISA OPERACIONAL

A Pesquisa Operacional tem origem nas primícias da Segunda Guerra Mundial, na Inglaterra, onde o governo necessitava de eficiência para alocar recursos escassos em operações militares. Tais como: escolha, manutenção e inspeção de aviões; utilização de radar para estratégias de bombardeio; artilharia antiaérea; dimensionamento de comboios; entre outros. (ARENALES et, al, 2015). No entanto, seu conceito já estava presente desde a Revolução Industrial, onde houve o aumento e a complexidade das organizações, sendo necessária uma maneira eficiente para alocar os recursos disponíveis, para diversos setores das organizações (HILLIER E LIEBERMAN, 2013).

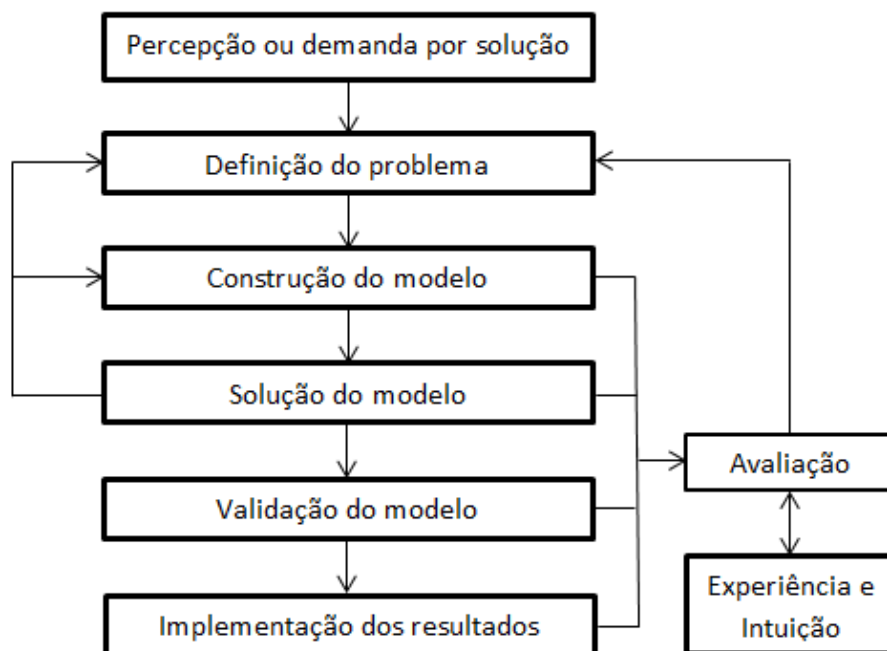
Com o fim da guerra, houve um crescimento na utilização da PO em países como Inglaterra e Estados Unidos. Em 1947, uma equipe de cientistas liderados pelo matemático George Dantzig realizou uma pesquisa onde foi desenvolvido um método para a resolução de problemas lineares, ficando conhecido como método Simplex (ARENALES et, al, 2015). A partir de 1950, a PO passou a ser aplicada em diversas áreas de produção e logística de indústrias e serviços.

Segundo Loesch e Hein (2017), a PO é um conjunto de métodos, que, como ciência, estrutura processos, através da modelagem, trazendo alternativas de atividades, prevendo e comparando dados, em relação a eficiência e custos. Já Arenales et, al (2015), trás que a PO consiste em desenvolver métodos científicos, visando analisar sistemas de alta complexidade, a fim de visualizar e comparar diferentes tipos de estratégias e decisões. Para Silva et, al, (1998) a PO é um método, que representa a descrição de um sistema organizado com o auxílio de um modelo, e mediante a experimentação, busca encontrar a melhor forma de operar um sistema.

A PO está presente desde a produção de um item, até na oferta de algum serviço, abrangendo diversas áreas. Entretanto, se os métodos da PO não forem utilizados da maneira adequada, pode-se levar a resultados ou decisões

indesejadas. Para que isso não ocorra, Andrade (2015) propõe cinco fases a serem cumpridas, sendo elas: definição do problema; construção do modelo; solução do modelo; validação do modelo; implementação da solução, conforme mostra a FIGURA 1.

FIGURA 1 - FASES DE ESTUDO DA PO.



Fonte: (Andrade, 2015).

A definição do problema é a fase onde se define o escopo do problema a ser estudado. Já na construção do modelo, o problema é transformado em um modelo matemático, sendo definido também se a resolução será por métodos exatos ou por métodos heurísticos. A fase de solução do modelo é onde será aplicado os métodos definidos na fase anterior. Na parte de validação do modelo é necessário fazer uma análise crítica, para apurar sua validade para o problema proposto. Por fim, na implementação, a solução é aplicada de maneira mais fiel ao proposto, visando obter na prática, os resultados obtidos teoricamente (TAHA, 2008).

A PO possui um grande conjunto de técnicas para resolução de problemas, sendo elas: programação linear, teoria dos jogos, teoria das filas, probabilidade e

estatística, programação dinâmica, teoria dos grafos e programação não linear. (REHFELDT, 2015)

2.2 PROGRAMAÇÃO LINEAR

A Programação Linear (PL) é considerada uma das técnicas mais utilizadas dentro da PO, estando presente em diversas áreas, sendo elas, a programação da produção de uma indústria, logística, priorização de pedidos, finanças, entre outras. (RODRIGUES, et al, 2014)

A PL tem grande importância por planejar a utilização de recursos à disposição com o objetivo de aumentar a eficiência. Outro aspecto que faz a PL ser essencial para diversas áreas dentro da PO é devido a sua capacidade de resolver e modelar problemas grandes em um tempo razoável. O seu resultado final pode trazer a redução de custos ou a maximização dos lucros. (TEODORO, 2003)

Segundo Rodrigues (2014), a PL é a representação das propriedades de um determinado problema em uma série de equações lineares, ou seja, um modelo de PL transcreve as características de um problema para uma linguagem matemática.

Para Carvalho (2014), um modelo de programação linear é formado pelas equações e inequações demonstradas de (1) à (3):

$$\text{Maximizar ou Minimizar: } Z = \sum_{j=1}^n c_j * x_j \quad (1)$$

$$\text{Sujeito á: } \sum_{j=1}^m a_{ij} * x_j \{ \geq | = | \leq \} b_i \quad (2)$$

$$\text{Sendo: } x_1, \dots, x_n \geq 0 \quad (3)$$

Onde (1) representa a função objetivo, podendo ser de maximizar ou minimizar um determinado fator, como o lucro ou os custos, por exemplo, tendo Z como o valor da medida de desempenho geral a ser otimizado. A variável x_j representa as variáveis de decisão, tendo j variando de 1 até o número total de variáveis (n). Já c_j representam os coeficientes da função objetivo que interferem no valor de z com j variando de 1 até n .

Já a equação (2) representa as restrições, onde a_{ij} indicam coeficientes técnicos, sendo a quantidade do recurso i consumida por unidade da atividade j , e b_i é o termo independente da restrição, representando a capacidade do recurso i em relação à alocação nas atividades x_j , com i variando de 1 até m , sendo m o número de restrições.

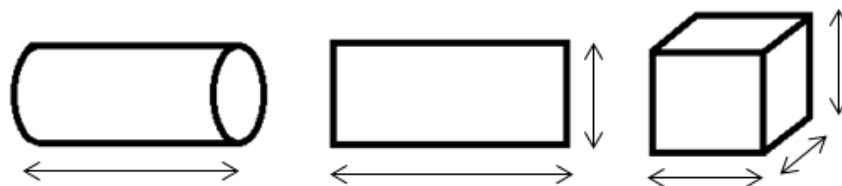
2.3 PROBLEMA DE CORTE E EMPACOTAMENTO

Um dos problemas mais estudados dentro da PO é o problema de corte e empacotamento (PCE). Segundo Bressan e Belinelli (2016), esses problemas consistem em selecionar padrões de cortes de materiais, sendo eles, bobinas de papel, chapas de metal ou madeira, espuma, entre outros, com o intuito de minimizar a quantidade de material utilizado, a redução da perda do mesmo ou a diminuição do custo final do produto.

Várias indústrias possuem seus processos de produção voltados ao corte de matérias primas, em geral, sendo apresentadas em tamanhos grandes padronizados, para serem cortados em itens menores e não padronizados, posteriormente. Os PCE'S são essenciais nessas indústrias, devido à competitividade entre as empresas, tornando seus processos mais eficientes, reduzindo os desperdícios desnecessários e consequentemente custos.

Segundo Arenales et, al. (2015) os PCE'S podem ser classificados de três maneiras. O problema é unidimensional, quando apenas a dimensão do comprimento for relevante, como exemplo barra de aço, bobinas de papel, rolos de filme, entre outros. Os problemas bidimensionais, que são tratados neste trabalho, possuem duas dimensões relevantes, comprimento e largura, tendo como alguns exemplos, placas de madeira, tecido, chapas de aço. E ainda dentro dos PCE, os problemas tridimensionais, sendo relevantes três dimensões, comprimento, largura e altura, como, cortes de bloco de espuma, ou o empacotamento de produtos em contêineres. É possível observar cada um desses problemas na FIGURA 2.

FIGURA 2 – TIPOS DE PROBLEMAS DE CORTE.



FONTE: O autor (2021).

2.4 INDÚSTRIA MOVELEIRA

No Brasil, as indústrias moveleiras estão presentes em todos os estados, mas sua maior concentração está na região Sul e Sudeste, representando cerca de 80% do total. A grande maioria é classificada como micro e pequenas empresas (MOSQUERA, 2007).

Segundo Rangel e Figueiredo (2009), as empresas variam dentre aquelas que possuem equipamentos modernos e sua produção completamente automatizada, até aquelas que têm o seu processo inteiramente manual e artesanal, e ainda aquelas que utilizam equipamentos modernos e robustos em um mesmo lugar.

De acordo com a Abimóvel (2021), às restrições impostas pelo período atual, combinado com diversos fatores, resultaram em uma crise no abastecimento de matérias-primas nos mais diversos setores do processo produtivo mobiliário. Além disso, a alta competitividade entre as indústrias faz com que as empresas busquem maneiras de aumentar sua produtividade e os seus lucros, com a maior qualidade e com a redução de desperdícios. Com isso, um fator de grande importância para atingir tais objetivos é a otimização do aproveitamento de matéria prima, que neste trabalho serão as chapas de madeira, minimizando as suas perdas (PEREIRA, 2008).

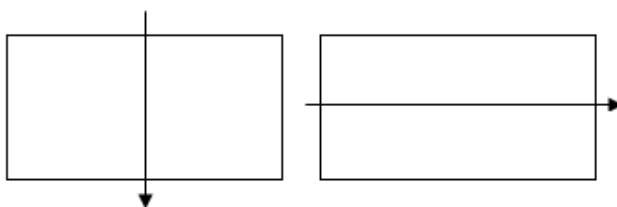
Para isso, se faz necessário entender melhor o problema de corte bidimensional e suas restrições voltadas para o corte de placas de madeiras e o tipo de placa utilizada nesse trabalho.

2.4.1 O Problema de Corte Bidimensional na Indústria Moveleira

Existem alguns fatores importantes de serem analisados para que o problema corte de chapas de madeiras tenha um resultado otimizado, como o padrão de corte guilhotinado, problemas restritos e irrestritos e a possibilidade de rotação.

O padrão de corte será guilhotinado quando um retângulo maior for cortado horizontalmente ou verticalmente, gerando dois novos retângulos menores. Um padrão de corte do tipo guilhotinado é definido por uma sequência de cortes guilhotinados. Um corte guilhotinado é representado na FIGURA 3 (VELASCO, 2005).

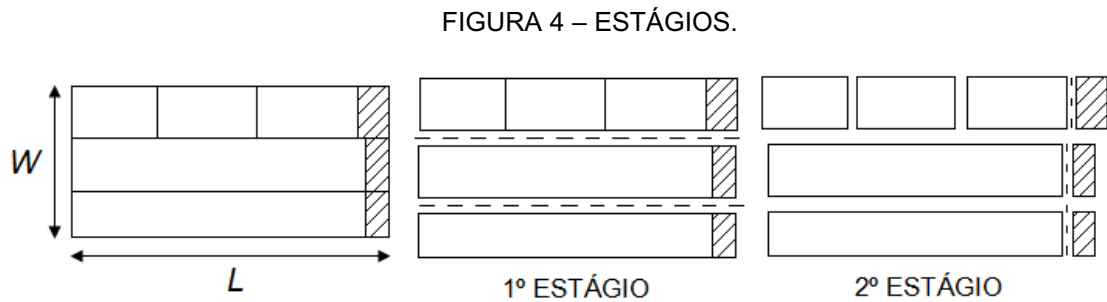
FIGURA 3 - CORTE GUILHOTINADO.



FONTE: O autor (2021).

Segundo Costa (2016), os problemas podem ser divididos em restritos quando existem quantidades limite de itens cortados no objeto, e irrestritos quando não possui essa restrição.

Os estágios são definidos como a mudança na orientação do corte, quando o objeto é rotacionado em 90° . Em alguns casos, se faz necessário aparar os retângulos para obter o item final, sendo chamado de *trimming* ou aparo. Esse processo não faz parte de um estágio. O problema é exato quando não for necessário fazer o processo de apara, caso contrário, é chamado de não-exato. A FIGURA 4 representa um exemplo de estágios.



FONTE: O autor (2021).

Quando todos os padrões de cortes já estão previamente definidos, é necessário decidir quantas vezes usar cada um, atendendo toda a demanda. Costa (2016) define o modelo para resolução do problema de corte bidimensional da seguinte forma:

$$\text{Min } \sum_{j=1}^n c_j * x_j \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} * x_j \geq d_i \quad i = 1, \dots, m \quad (2)$$

$$x_j \in Z^+ \quad j = 1, \dots, m \quad (3)$$

Onde x_j é uma variável que representa o número de objetos cortados de acordo com o padrão j , a_{ij} representa o número de itens i gerados com o padrão j . A função objetivo (1) pode apresentar diferentes objetivos, de acordo com o parâmetro c , podendo ser, minimizar o custo de cada padrão de corte, minimizar o número de objetos cortados ou minimizar a perda em cada padrão de corte. A restrição (2) determina que a demanda seja atendida, a restrição (3) mostra o tipo das variáveis (ARENALES, et al, 2015).

Segundo Cherri et. al. (2009), após gerar os padrões, a área não ocupada da chapa podem ter duas classificações, sendo sobras ou perdas. As sobras são as partes da chapa que podem ser reutilizadas para a produção de outros produtos. Já as perdas são aquelas de difícil reaproveitamento pelo seu tamanho ser menor do que os possíveis para utilização.

2.4.2 *Medium Density Particleboard* (MDP)

A chapa de madeira utilizada para a realização desta pesquisa é classificada como *Medium Density Particleboard* ou Painel de Partícula de Média Densidade. Segundo a publicação no MadeiraMadeira, a chapa de MDP é feita com partículas de madeira prensada sendo formadas por três camadas, sendo uma mais grossa no meio e duas mais finas na superfície. Isso faz com que o material se torne mais robusto e com uma boa estruturação. Apesar de ser mais leve, o MDP suporta uma carga de peso mais elevada devido a sua estrutura de três camadas. A FIGURA 5 ilustra placas do tipo MDP, onde é possível identificar as camadas descritas anteriormente.

FIGURA 5 – PLACAS MDP.



FONTE: Google (2021).

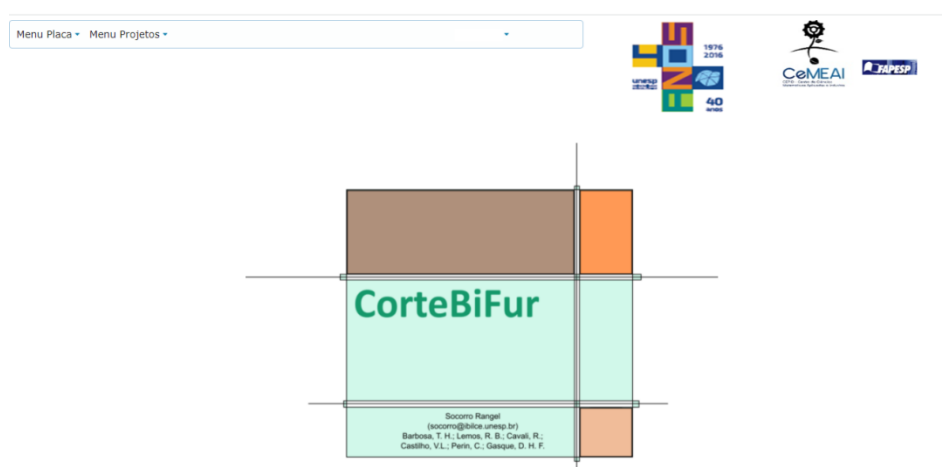
2.5 SOLUÇÕES PARA O PROBLEMA DE CORTE BIDIMENSIONAL

Neste trabalho serão usados dois *softwares* livres que utilizam métodos exatos e heurísticas, buscando boas soluções em um curto período, com a finalidade de comparar e verificar sua eficiência em relação ao método utilizado pela empresa estudada. Para o entendimento posterior, objetos serão definidos pelas chapas maiores, e os itens as placas menores a serem cortados nos objetos.

Segundo Carneiro (2010), os métodos heurísticos são aqueles que procuram soluções viáveis mediante as avaliações fundamentadas nas características do problema ou baseados em critérios computacionais, rapidamente, mas sem analisar todas as soluções possíveis.

O software CorteBiFur utiliza métodos heurísticos e exatos para geração do padrão de corte. Os exatos podem ser do tipo tabuleiro, controle de folga e controle de rotação. Padrões tabuleiro pertencem aos padrões guilhotinados ortogonais 2-estágios, tendo apenas um tipo de faixa e sendo mais simples de serem produzidos pela máquina de corte. O controle de folga obtém os melhores padrões mesmo que passe da quantidade demandada. Já no controle de rotação os itens podem ser girados em 90° quando alocados nos padrões (RANGEL, 2019). Exemplos do método guilhotinado podem ser observados nas FIGURAS 3 e 4, já a interface do *software* CorteBiFur na FIGURA 6.

FIGURA 6 – INTERFACE CORTEBIFUR.



FONTE: CorteBiFur (2021).

Já o algoritmo utilizado como base pelo *software* Sketchcut Lite é o *Hybrid First Fit* (HFF), sendo um método heurístico. Este algoritmo é uma combinação de outros dois, o *First Fit Decreasing* (FFD) e o *First Decreasing Height* (FFDH). Uma breve explicação do algoritmo será feita a seguir.

O algoritmo FFD é utilizado em casos unidimensionais, em que ordena primeiramente os itens de maneira decrescente, posicionando o primeiro item na parte de baixo de um objeto maior, repetindo o processo para os outros itens. Caso o item seguinte não caiba na primeira placa do objeto maior, é iniciado o processo para uma nova placa. O objetivo do algoritmo FFD é a maximização da área ocupada do objeto maior. (TEODORO, 2003) Veja a descrição no Algoritmo 1 a seguir.

Algoritmo 1

Entrada: Informações das dimensões dos objetos e dos itens, tendo os mesmos comprimentos.

1° Ordene os itens de forma decrescente pela largura;

2° Empacote o primeiro item na parte inferior do objeto maior;

3° Enquanto existirem itens não empacotados faça;

3.1 Tente empacotar o item acima dos itens já empacotados, nas placas criadas anteriormente, na ordem em que foram criadas;

3.2 Se não couber, empacote o item em uma nova placa;

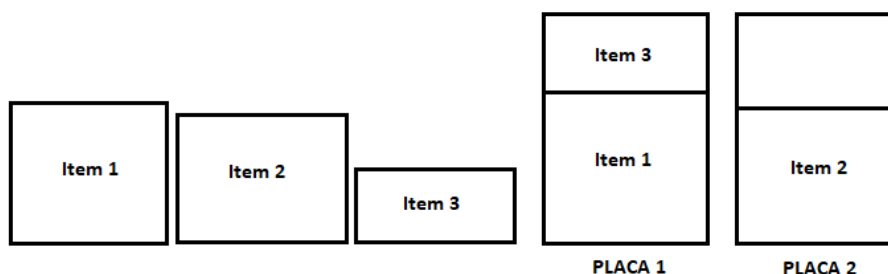
4° Retome padrões encontrados.

Saída: Conjunto de padrões.

Fim do algoritmo.

A FIGURA 7 representa um exemplo do Algoritmo 1 aplicado.

FIGURA 7 – EXEMPLO FFD.



FONTE: O autor (2021).

Na FIGURA 7, é dado um exemplo onde se faz necessário ser cortados os itens 1, 2 e 3, todos de mesmo comprimento. De acordo com o Algoritmo 1, o item 1 deve ser alocado primeiramente na parte inferior na placa 1, logo após, o item 2 deve ser alocado acima, porém, não tem espaço suficiente na placa 1, sendo encaixado então na placa 2. Na sequência o mesmo processo se repete para o item 3, que coube acima do item 1. Após todos os itens serem empacotados, o algoritmo trará os padrões de corte gerados.

Segundo Teodoro (2003), o algoritmo FFDH é voltado para casos bidimensionais, que também tem como objetivo a maximização da área ocupada do objeto. Primeiramente os itens são ordenados de forma decrescente pela altura, colocando o primeiro item no canto inferior esquerdo do objeto. Logo após, o segundo item deve ser alocado ao lado do primeiro. Caso não caiba no espaço, é traçado uma linha na altura do primeiro item e colocado acima, também alinhado ao lado esquerdo. Sendo repetido o processo até todos os itens serem alocados Veja a descrição no Algoritmo 2.

Algoritmo 2

Entrada: Informações dos objetos e dos itens.

1° Ordene os itens de forma decrescente pela altura, podendo ser o comprimento e a largura definidos como a altura;

2° Empacote o primeiro item na parte inferior esquerda do objeto maior e trace a primeira faixa;

3° Enquanto existirem itens não empacotados faça:

3.1 Tente empacotar o item na faixa ao lado dos itens já empacotados anteriormente, por ordem de criação;

3.2 Se não couber, empacote o item em uma nova faixa, com a altura da faixa sendo definida pela altura do item empacotado;

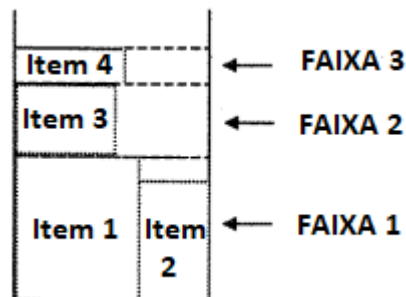
4° Retome faixas geradas.

Saída: Conjunto de faixas.

Fim do algoritmo.

A FIGURA 8 representa um exemplo do Algoritmo 2.

FIGURA 8 – EXEMPLO FFDH.



FONTE: Adaptado de Teodoro (2003).

Na FIGURA 8, os itens foram empacotados dentro do objeto maior de acordo com o Algoritmo 2. É possível observar o passo 3.2 com o item 4, onde não caberia ao lado do item 3, sendo criada uma nova faixa definida pela sua altura.

O algoritmo HFF, é um algoritmo híbrido entres os dois apresentados anteriormente, e tem como objetivo maximizar a área ocupada do objeto cortado. (TEODORO, 2003) O Algoritmo 3 contém uma descrição do algoritmo HFF.

Algoritmo 3

Entrada: Informações das placas e dos itens.

1º Aplique o algoritmo FFDH para criar faixas;

2º Empacote as faixas em placas utilizando o algoritmo FFD;

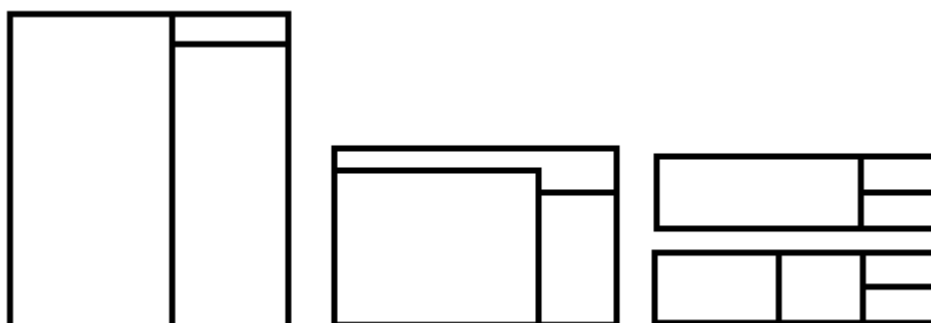
3º Retorne padrões encontrados;

Saída: Conjunto de padrões.

Fim do algoritmo.

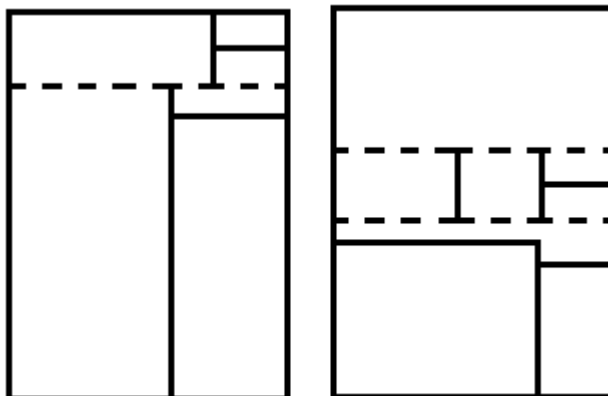
Este algoritmo cria linhas de corte de uma extremidade a outras, ou seja, guilhotinado, utilizando o FFDH, e logo após, utiliza o FFD para recolocar essas faixas no objeto. Nas FIGURAS 9 e 10, é apresentado um exemplo do Algoritmo 3.

FIGURA 9 – FAIXAS GERADAS PELO FFDH.



FONTE: Adaptado de Teodoro (2003).

FIGURA 10 – EXEMPLO HFF.

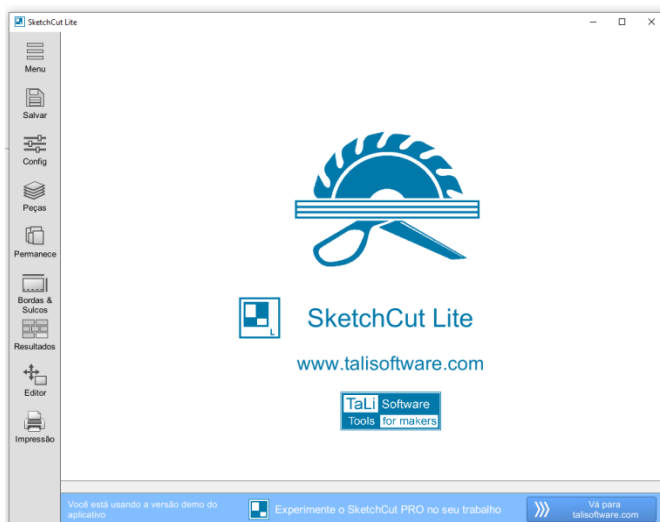


FONTE: Adaptado de Teodoro (2003).

Na FIGURA 9 o algoritmo FFDH é aplicado criando as faixas, e na FIGURA 10 as faixas, que são ilustradas pelos tracejados, são empacotadas no objeto pelo algoritmo FFD, retornando os conjuntos de padrões gerados pelo algoritmo HFF.

Após o entendimento dos algoritmos, a FIGURA 11 representa a interface do software SketchCut Lite.

FIGURA 11 – INTERFACE SKETCHCUT LITE.



FONTE: SketchCut Lite. (2021).

3 MÉTODOS DE PESQUISA

Neste capítulo está presente o enquadramento da pesquisa, as ferramentas de coleta e análise de dados, as fases da pesquisa e a caracterização da pesquisa, onde será tratado os dados necessários para a realização dos testes.

3.1 ENQUADRAMENTO DA PESQUISA

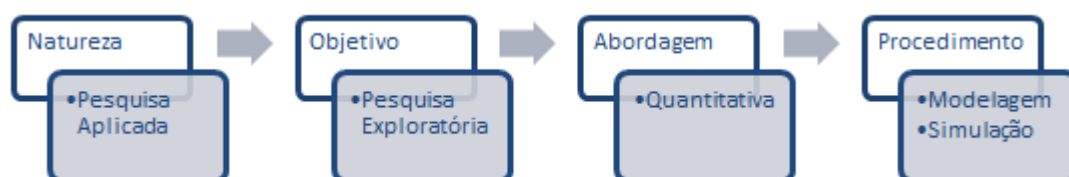
Para a classificação desta pesquisa, se faz necessário definir quatro categorias, sendo elas: a natureza, os objetivos, a abordagem e o procedimento.

De acordo com os conceitos de Silva e Menezes (2005), essa pesquisa em relação à natureza, enquadra-se como pesquisa aplicada, por gerar conhecimentos para aplicação prática e dirigidos a solução de problemas específicos. Em relação aos objetivos, é classificada como exploratória, pois proporciona a familiaridade com o tema, analisando formas de otimizar um processo já existente.

Em referência a abordagem, o estudo é classificado como quantitativo, pois tem como objetivo a maximização do espaço utilizado de chapas de madeira MDP, sendo essencial a utilização de modelos matemáticos para a comparação e a análise de dados (NASCIMENTO E SOUZA, 2016).

Segundo Ganga (2011), o procedimento pode ser classificado como modelagem e simulação, pois se utiliza de modelos matemáticos para descrever o funcionamento de um processo sendo utilizadas técnicas computacionais para simular o processo de acordo com o modelo matemático. O enquadramento da pesquisa é representado pela FIGURA 12.

FIGURA 12 - ENQUADRAMENTO DA PESQUISA.



FONTE: O autor (2021).

3.2 FERRAMENTAS DE COLETA DE DADOS

Os dados necessários para a realização do estudo foram adquiridos através de reuniões online, com colaboradores responsáveis pelo processo de corte da empresa. Primeiramente foi preciso conhecer, através de vídeos, as máquinas de cortes da empresa, e logo após perguntas essenciais para o entendimento do processo.

Feito isso, para facilitar a realização do trabalho, foi definido o painel com suas dimensões e sua quantidade a ser produzida. A empresa utiliza de um software interno para a geração dos padrões de corte, com isso, foi preciso coletar informações sobre a solução do programa, com o intuito de ter uma visão ampla do problema e a realização de comparações.

3.3 FERRAMENTAS DE ANÁLISE DOS DADOS

A partir da coleta de dados, foram utilizados dois softwares livres, para o auxílio na geração de padrões de corte distintos do caso estudado, sendo eles: CorteBiFur e Sketchcut Lite.

O CorteBiFur resolve problemas de corte bidimensional levando em consideração placas grandes e peças pequenas retangulares através de uma demanda solicitada, tendo como resultado minimizar a perda do material. (RANGEL, 2019). Já o Sketchcut Lite, é um aplicativo disponível na *App Store* e *Google Play*. Segundo o Google Play, o aplicativo é “projetado com recursos de corte de materiais de folha (compensado, aglomerado, MDF, vidro, plástico, painéis de madeira, etc.)”, e também permite a escolha e alteração dos parâmetros de corte.

Após a descrição dos softwares, é possível notar que atendem as necessidades deste estudo, sendo apto à utilização para a geração de padrões de corte. Com isso, a partir das simulações, serão escolhidos os melhores resultados obtidos para o painel estudado.

3.4 FASES DA PESQUISA

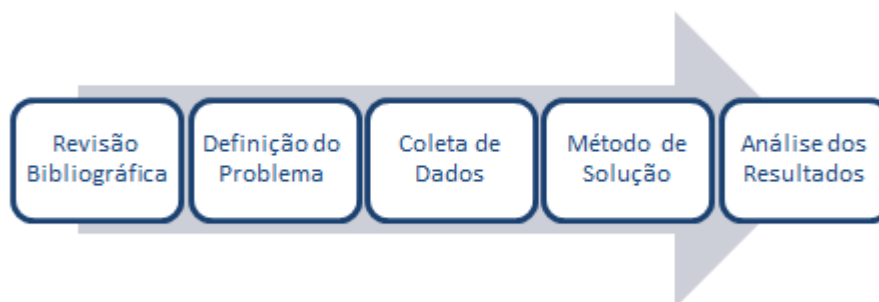
Primeiramente, se fez preciso realizar um estudo profundo sobre o tema a ser tratado, por meio de livros, artigos e toda a literatura relacionada, a fim de conhecer melhor sobre tema de corte, neste trabalho particularmente sobre o problema de corte bidimensional.

Após a realização do estudo bibliográfico, notou-se a importância de definir a empresa que forneceria os dados necessários para a realização do estudo, sendo escolhida uma indústria moveleira de médio porte no estado do Paraná. Com a empresa definida, através de reuniões online com colaboradores do setor de corte da indústria, foi escolhido o painel para a realização dos testes.

A partir dos dados coletados, foram utilizados dois softwares para a realização dos testes, o CorteBiFur e o Sketchcut Lite, sendo aplicados os dados importantes, como as dimensões das peças para o painel e as quantidades de produção, para serem comparados entre si e entre os padrões aplicados atualmente pela empresa.

Por fim, após a realização dos testes e com os resultados adquiridos através dos softwares, foram feitas análises e comparações entre os novos padrões e os praticados atualmente pela empresa. Essas etapas estão ilustradas na FIGURA 13.

FIGURA 13 - ETAPAS DA PESQUISA.



FONTE: O autor (2021).

3.5 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A Empresa escolhida para a realização do estudo referente ao corte bidimensional está localizada no estado do Paraná, possuindo duas unidades, que juntas somam aproximadamente 50.000 m² de construção, tendo 29 anos de história no mercado, desenvolvendo soluções mobiliárias. Atuando em todos os estados brasileiros, a empresa atende de pequenos a grandes lojistas, estando presente também no mercado internacional.

A empresa possui uma grande variedade de móveis fabricados, com isso, para a realização dos testes, foi escolhido como produto fabricado pela empresa um modelo de painel de televisão, que se utiliza de placas MDP com diferentes dimensões para a produção de seus itens. A FIGURA 14 representa o painel escolhido para o estudo.

FIGURA 14 – PAINEL DE TELEVISÃO.



FONTE: A Empresa (2021).

A complexidade do problema vem dos diferentes tipos de chapas que são possíveis para a produção dos itens, e também, das duas máquinas de cortes presentes na empresa, onde apenas uma é permitida a rotação. Os tipos de chapas para a produção do painel estão representados na TABELA 1.

TABELA 1 – TIPOS DE CHAPAS.

<i>DESCRIÇÃO</i>	<i>COMPRIMENTO (MM)</i>	<i>LARGURA (MM)</i>
MDP CRU 12 MM	2750	1850
MDP CRU 12 MM	2750	2200
MDP CRU 15 MM	2750	1850
MDP CRU 15 MM	2750	2200
MDP CRU 25 MM	2750	1850
MDP CRU 25 MM	2750	2200

FONTE: Adaptado da Empresa (2021).

Na TABELA 1, é possível observar que existem três tipos de chapas de acordo com as diferentes espessuras definidas na descrição. E a cada tipo de chapa existem duas possibilidades diferentes em relação à largura. Os itens a serem cortados são apresentados na TABELA 2.

TABELA 2 – ITENS A SEREM CORTADOS.

<i>DESCRIÇÃO</i>	<i>MATERIAL</i>	<i>COMPRIMENTO (MM)</i>	<i>LARGURA (MM)</i>	<i>QUANTIDADE</i>
ITEM 1	MDP CRU 12 MM	1362	326	2000
ITEM 2	MDP CRU 12 MM	1362	451	4000
ITEM 3	MDP CRU 15 MM	933	203	2000
ITEM 4	MDP CRU 15 MM	950	186	2000
ITEM 5	MDP CRU 15 MM	347	150	1000
ITEM 6	MDP CRU 15 MM	412	165	1000
ITEM 7	MDP CRU 15 MM	1223	143	2000
ITEM 8	MDP CRU 15 MM	950	205	2000
ITEM 9	MDP CRU 25 MM	1362	452	1000
ITEM 10	MDP CRU 15 MM	380	222	2000
ITEM 11	MDP CRU 15 MM	300	223	4000
ITEM 12	MDP CRU 15 MM	341	120	1000

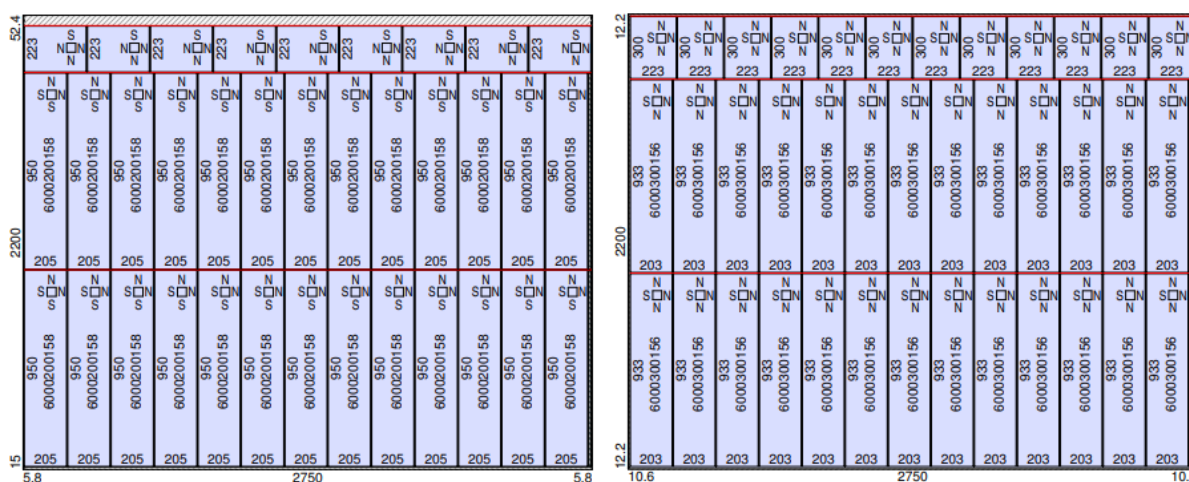
FONTE: Adaptado da Empresa (2021).

Na TABELA 2, a primeira coluna representa os itens a serem cortados, a segunda o tipo de chapa utilizada para o corte do item, na terceira e quarta estão representadas as dimensões e na última coluna a quantidade de cada item. Faz necessário definir que a demanda será de dois mil painéis. Os itens que possuem uma quantidade demandada de quatro mil serão utilizados duas vezes para a fabricação do painel, e os itens de demanda mil passarão por um processo de recorte.

Para a realização dos testes, o valor da espessura da serra é de grande importância para os itens serem encaixados entre cada um, que será definido de acordo com os dados coletados na empresa, em 4,8mm.

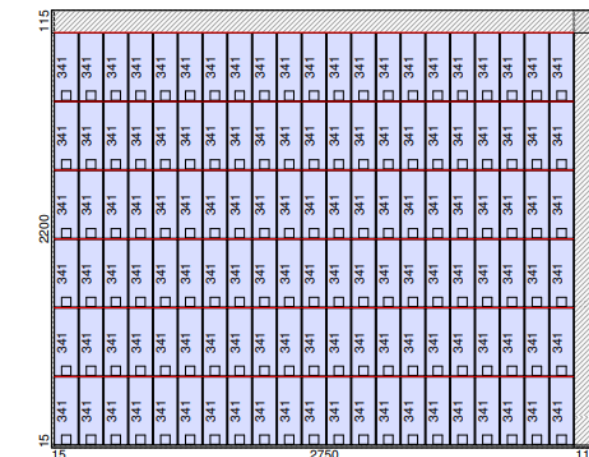
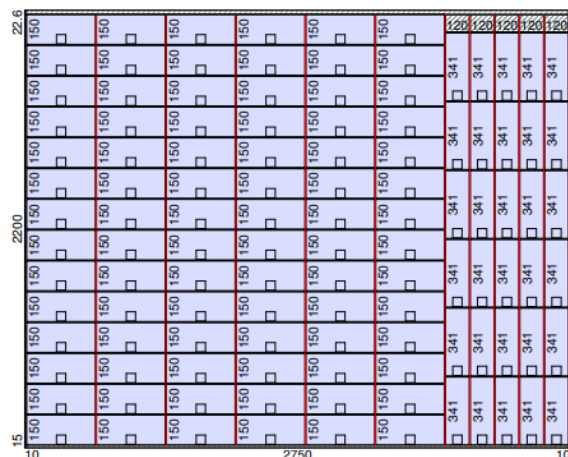
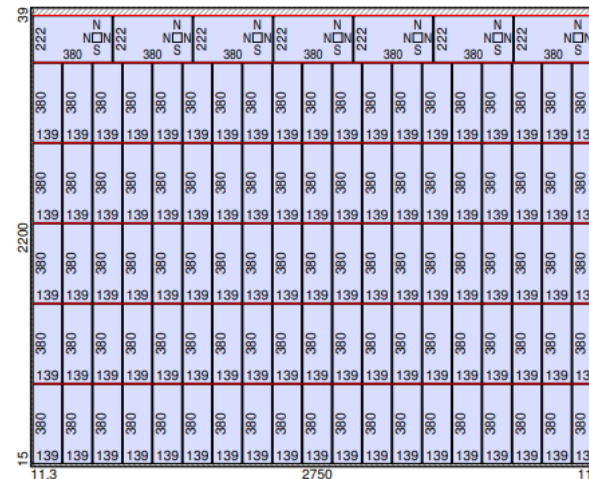
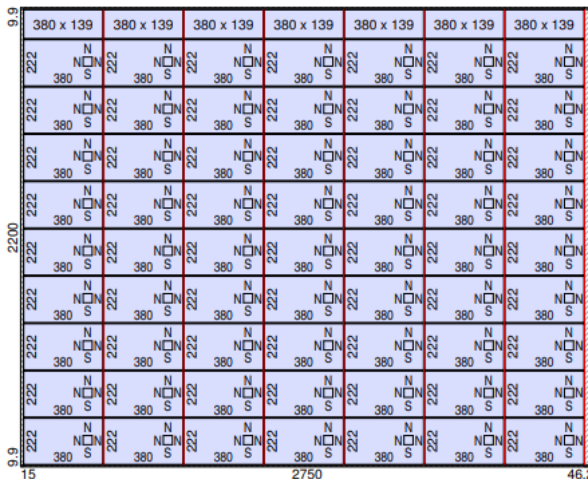
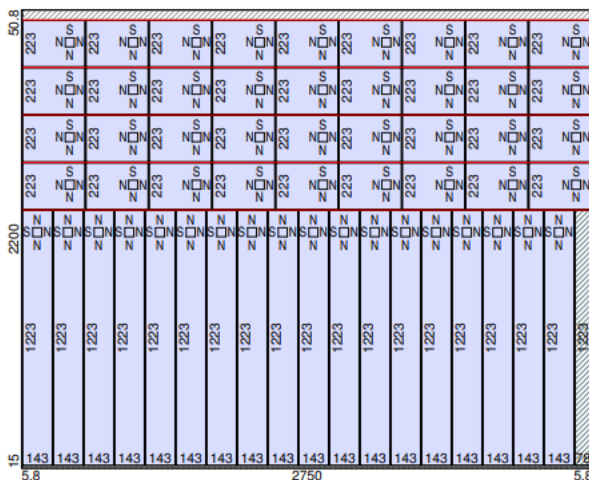
As FIGURAS 15 a 20 estão representados os planos de cortes utilizados pela empresa atualmente, gerados pelo software Ardis Optimizer. Os planos estão divididos pelas diferentes espessuras de chapas e diferentes larguras. As partes tracejadas representam as perdas de cada chapa.

FIGURA 15 – PADRÕES DE CORTE CHAPA 15MM X 2200MM.



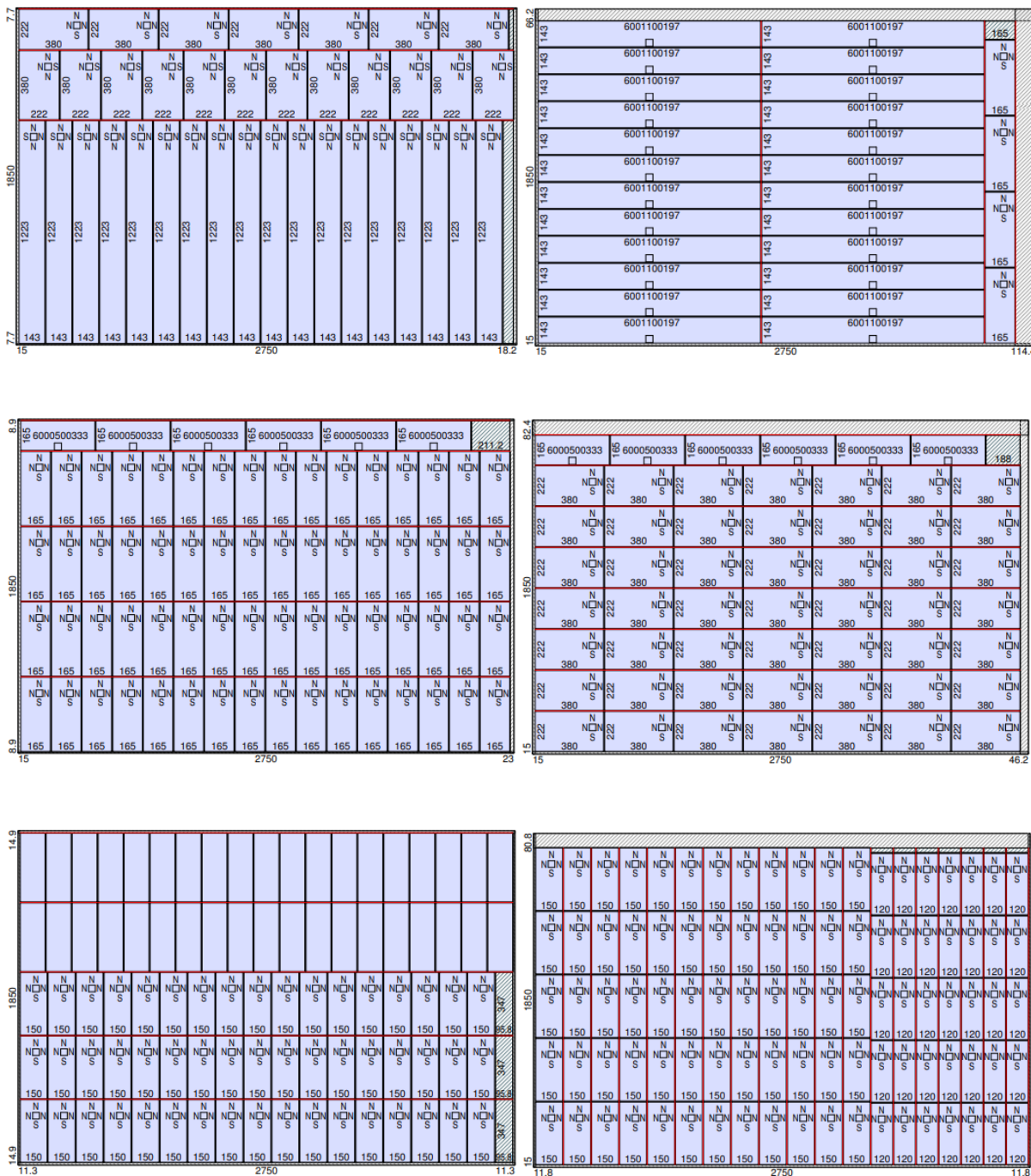
FONTE: Adaptado da Empresa (2021).

FIGURA 16 – PADRÕES DE CORTE CHAPA 15MM X 2200MM CONTINUAÇÃO.



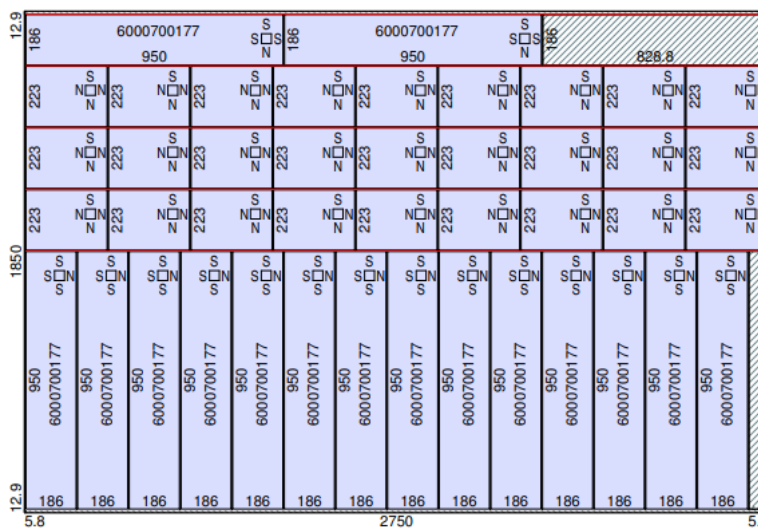
FONTE: Adaptado da Empresa (2021).

FIGURA 17 – PADRÕES DE CORTE CHAPA 15MM X 1850MM.



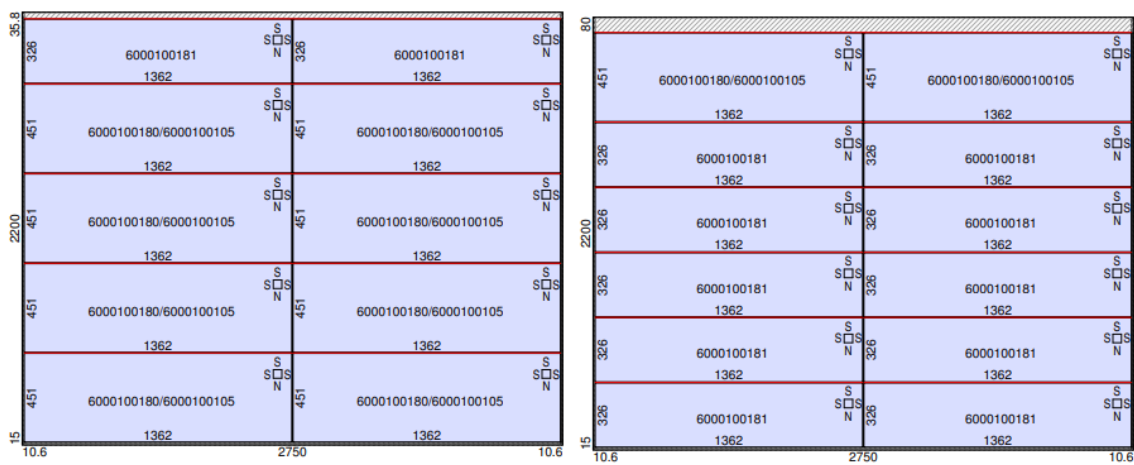
FONTE: Adaptado da Empresa (2021).

FIGURA 18 – PADRÕES DE CORTE CHAPA 15MM X 1850MM CONTINUAÇÃO.



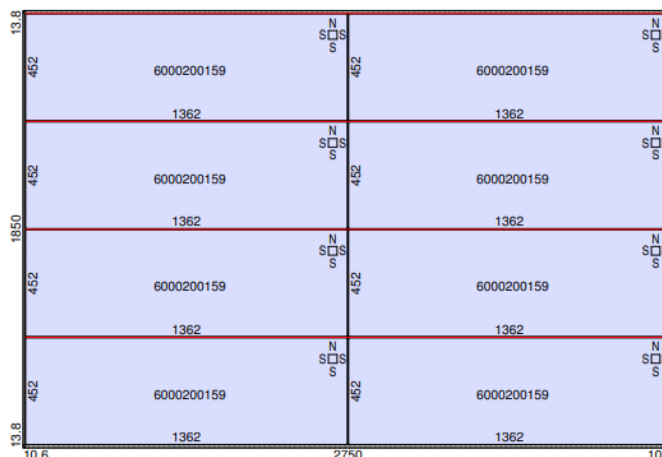
FONTE: Adaptado da Empresa (2021).

FIGURA 19 – PADRÕES DE CORTE CHAPA 12MM X 2200MM.



FONTE: Adaptado da Empresa (2021).

FIGURA 20 – PADRÃO DE CORTE CHAPA 25MM X 1850MM.



FONTE: Adaptado da Empresa (2021).

Após apresentados os padrões que a empresa utiliza, é necessário trazer algumas informações importantes para fim de comparação após a realização dos testes. Essas informações estão presentes na TABELA 3.

TABELA 3 – INFORMAÇÕES DOS PADRÕES.

<i>MATERIAL</i>	<i>COMPRIMENTO (MM)</i>	<i>LARGURA (MM)</i>	<i>PADRÕES GERADOS</i>	<i>QUANTIDADE DE CHAPAS</i>	<i>% MÉDIA DE PERDA</i>
MDP CRU 15MM	2750	2200	8	303	7,93
MDP CRU 15MM	2750	1850	7	89	9,1
MDP CRU 12MM	2750	2200	2	580	5,2
MDP CRU 25MM	2750	1850	1	125	3,19

FONTE: Adaptado da Empresa (2021).

Na primeira coluna encontra-se o tipo de chapas utilizadas, na sequência as informações das dimensões de cada uma. Logo após são informadas as quantidades de padrões gerados, dezoito no total, quantidade de chapas, sendo 1.097 necessárias e ao final a porcentagem média de perda, sendo 6,3% de média considerando a perda geral. É importante observar que foram utilizadas chapas MDP 15MM com larguras diferentes, onde a média de perda entre as duas foi de 8,5%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos após a aplicação dos dados nos softwares CorteBiFur e SketchCut Lite, os padrões de corte gerados por cada um e a comparação com os resultados da empresa.

Foram realizados diferentes testes, com diferentes características, sendo elas: diferentes larguras das chapas de MDP, restrições em relação à rotação e a orientação de corte. Neste trabalho serão apresentados somente os testes que obtiveram os melhores resultados.

4.1 APLICAÇÃO DOS DADOS NO SOFTWARE CORTEBIFUR

Para a realização dos testes, primeiramente, se fez necessário cadastrar no *software* os dados referentes às diferentes chapas de MDP, estando presentes na TABELA 1, e também a espessura da serra, definida anteriormente em 4,8mm.

Após o cadastro das chapas, foram cadastrados os itens em cada chapa que o compõem, através dos dados da TABELA 2. Todas as chapas foram permitidas a rotação para a geração dos novos padrões.

Com as chapas e itens cadastrados, foi possível a realização dos testes. Os resultados dos testes e os padrões de corte gerados estão classificados de acordo com cada espessura de chapa e serão apresentados a seguir.

As tabelas deste subcapítulo estão estruturadas da seguinte forma: na primeira coluna esta a descrição do material, em seguida seu comprimento e largura, a quantidade de padrões gerados, a quantidade de chapas necessárias e a porcentagem média de perda de material para os padrões.

4.1.1 Chapas MDP 12 mm CorteBiFur

Os padrões que obtiveram os melhores resultados utilizaram as chapas com largura de 2200mm sendo permitida a rotação. Os dados gerados pelo software estão apresentados na TABELA 4.

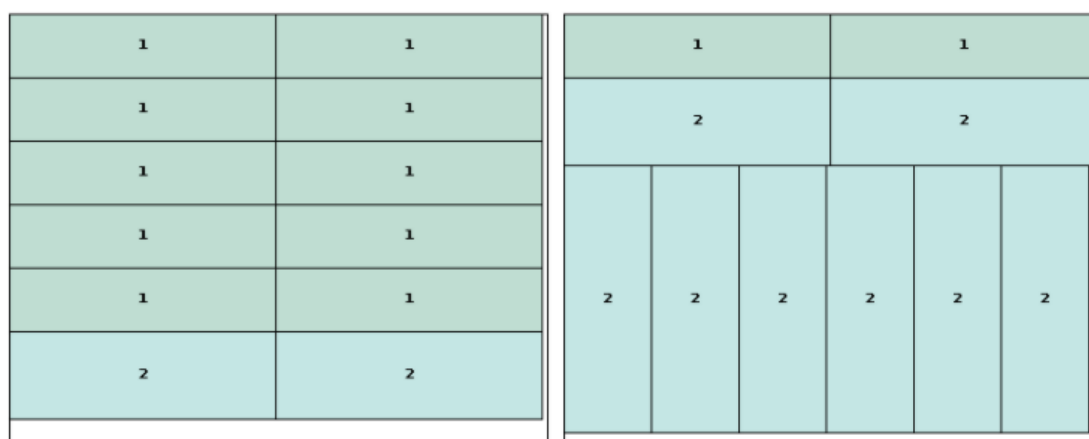
TABELA 4 – RESULTADOS CHAPA 12 MM CORTEBIFUR.

<i>MATERIAL</i>	<i>COMPRIMENTO (MM)</i>	<i>LARGURA (MM)</i>	<i>PADRÕES GERADOS</i>	<i>QUANTIDADE DE CHAPAS</i>	<i>% MÉDIA DE PERDA</i>
MDP CRU 12MM	2750	2200	2	580	5,2

FONTE: Adaptado CorteBiFur (2021).

Com os dados apresentados, é possível notar que foram gerados dois padrões para a chapa MDP 12 mm, ilustrados na FIGURA 21, onde a parte branca representa a perda de cada padrão, e os números representam cada item.

FIGURA 21 – PADRÕES DE CORTE CHAPA 12 MM X 2200 MM CORTEBIFUR.



FONTE: Adaptado CorteBiFur (2021).

4.1.2 Chapas MDP 15 mm CorteBiFur

Para as chapas de 15 mm, o software utilizou no melhor resultado obtido apenas chapas de largura 2200 mm, permitindo a rotação, gerando nove padrões de corte e utilizando 362 chapas no total. É possível observar esses dados e também a quantidade de perda média para os padrões na TABELA 5.

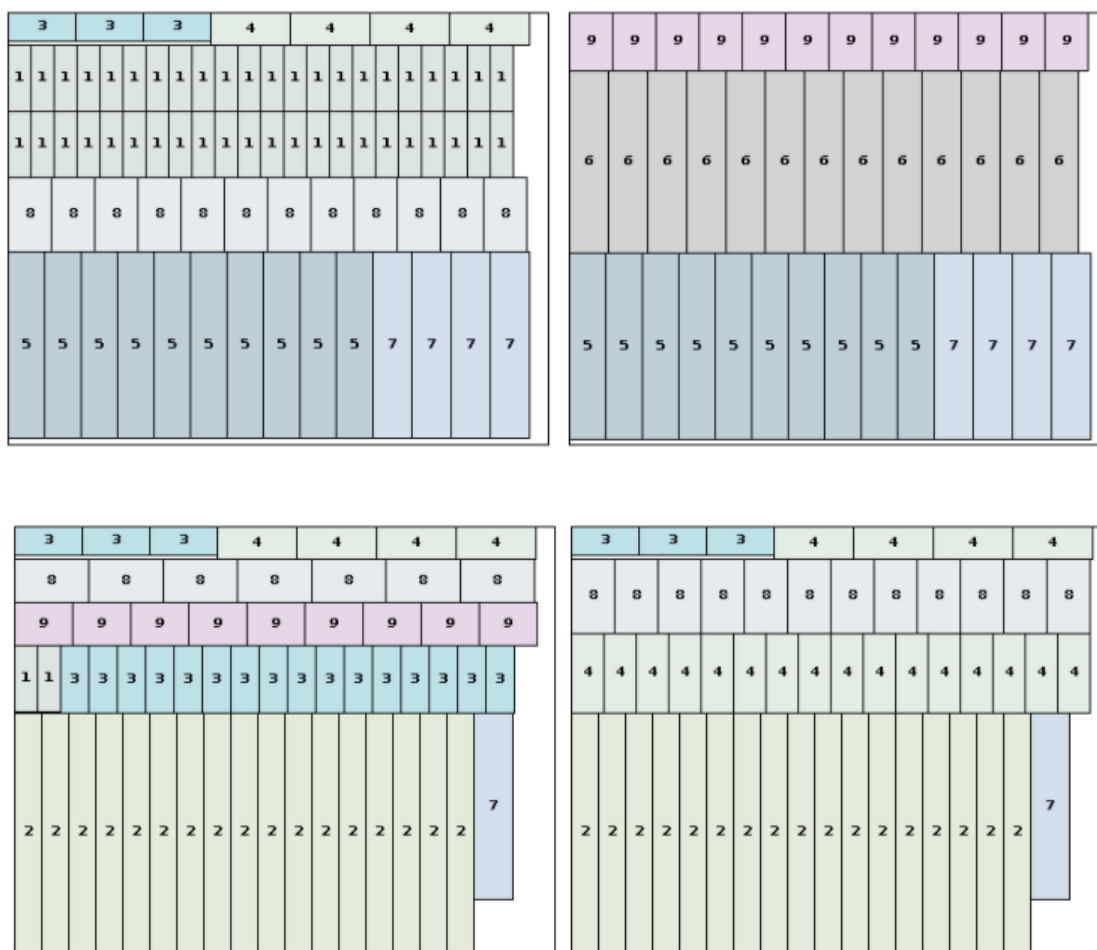
TABELA 5 – RESULTADOS CHAPA 15 MM CORTEBIFUR.

MATERIAL	COMPRIMENTO (MM)	LARGURA (MM)	PADRÕES GERADOS	QUANTIDADE DE CHAPAS	% MÉDIA DE PERDA
MDP CRU 15MM	2750	2200	9	362	4,6

FONTE: Adaptado CorteBiFur (2021).

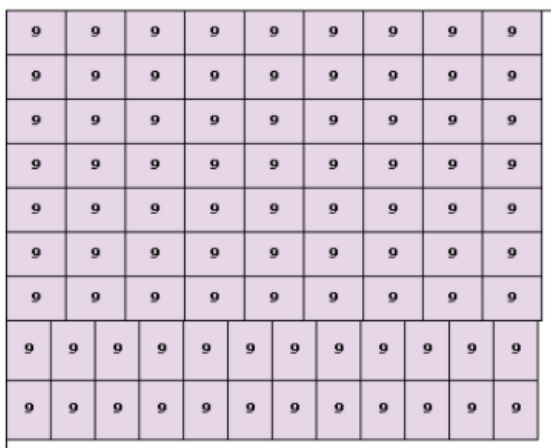
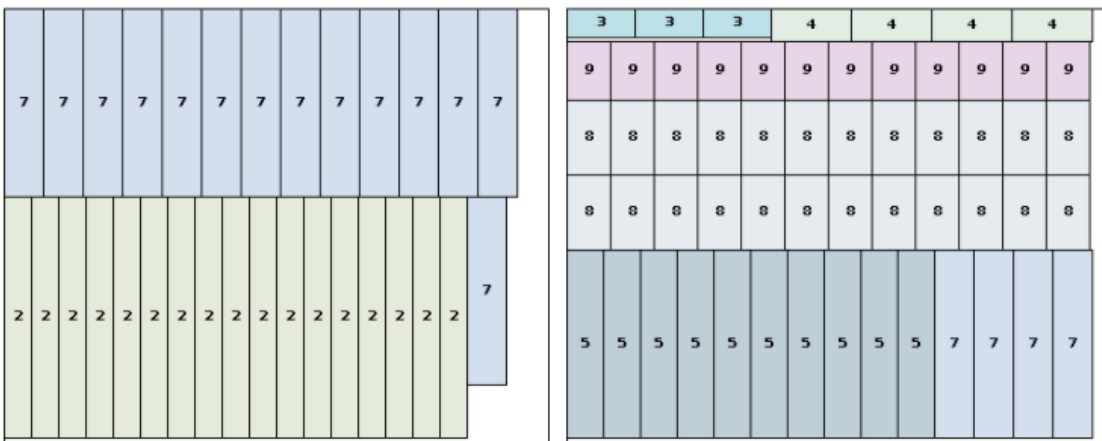
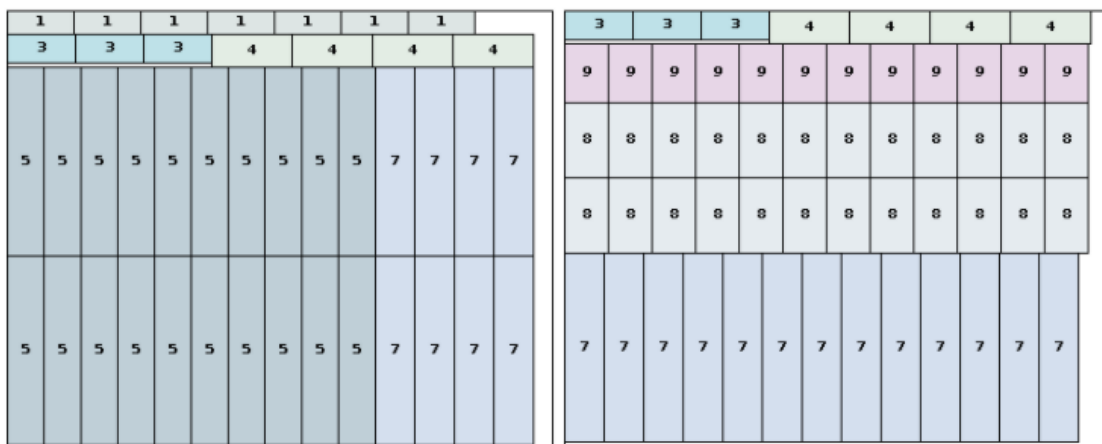
Os nove padrões estão ilustrados nas FIGURAS 22 e 23. Cada item esta representado por diferentes cores e números nos padrões de corte.

FIGURA 22 – PADRÕES DE CORTE CHAPA 15 MM X 2200 MM CORTEBIFUR.



FONTE: Adaptado CorteBiFur (2021).

FIGURA 23 – PADRÕES DE CORTE CHAPA 15 MM X 2200 MM CORTEBIFUR CONTINUAÇÃO.



FONTE: Adaptado CorteBiFur (2021).

4.1.3 Chapas MDP 25 mm CorteBiFur

O padrão que obteve o melhor resultado entre os testados foi utilizando as chapas de 25 mm com a largura de 1850 mm e a rotação sendo permitida. Os resultados estão apresentados na TABELA 6.

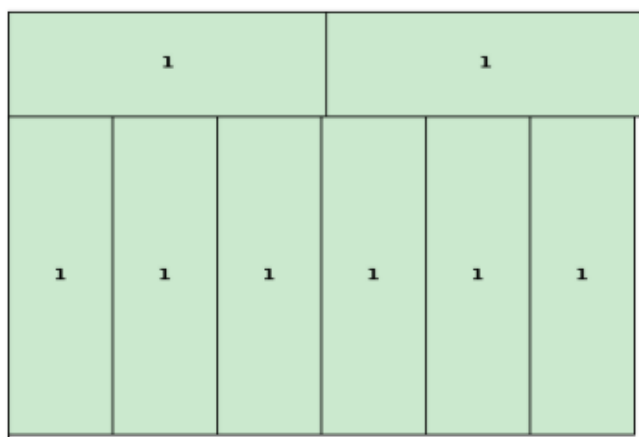
TABELA 6 – RESULTADOS CHAPA 25 MM CORTEBIFUR.

<i>MATERIAL</i>	<i>COMPRIMENTO (MM)</i>	<i>LARGURA (MM)</i>	<i>PADRÕES GERADOS</i>	<i>QUANTIDADE DE CHAPAS</i>	<i>% MÉDIA DE PERDA</i>
MDP CRU 25MM	2750	1850	1	125	3,19

FONTE: Adaptado CorteBiFur (2021).

São necessárias 125 chapas com 1850 mm de largura para atender a demanda necessária, através de um padrão de corte gerado pelo software, tendo uma perda de 3,19%. É possível observar este padrão na FIGURA 24.

FIGURA 24 – PADRÕES DE CORTE CHAPA 25 MM X 1850 MM CORTEBIFUR.



FONTE: Adaptado CorteBiFur (2021).

4.1.4 Resultados CorteBiFur

Após a geração dos resultados para as placas de 12 mm, 15 mm e 25 mm, a TABELA 7 traz os dados totais das quantidades utilizadas de chapas e a porcentagem média de perda geral.

TABELA 7 – RESULTADOS CORTEBIFUR.

	<i>QUANTIDADE DE CHAPAS</i>	<i>% MÉDIA DE PERDA</i>
TOTAL	1.067	4,3

FONTE: O autor (2021).

A primeira coluna traz que pelo software CorteBiFur são necessárias 1.067 chapas ao total para atender a demanda necessária de itens, e a segunda coluna uma perda média de 4,3% ao total.

4.2 APLICAÇÃO DOS DADOS NO SOFTWARE SKETCHCUT LITE

Os testes foram realizados no software SketchCut Lite após o cadastro das chapas no sistema, sendo definindo também a espessura da serra e o cadastro dos itens presentes na TABELA 2.

No SketchCut Lite, diferente do CorteBiFur, não é possível utilizar números quebrados para a espessura da serra, e a empresa utiliza 4,8 mm como definido anteriormente. Sendo assim, para realizar os testes foi necessário definir a espessura em 5 mm, por ser o valor mais aproximado do real.

Os resultados e os padrões de corte gerados serão apresentados a seguir, sendo definidos pelas diferentes espessuras das chapas.

4.2.1 Chapas MDP 12 mm SketchCut Lite

Os dados da TABELA 8 representam os resultados obtidos através do teste realizado no software SketchCut Lite para as chapas de 12 mm.

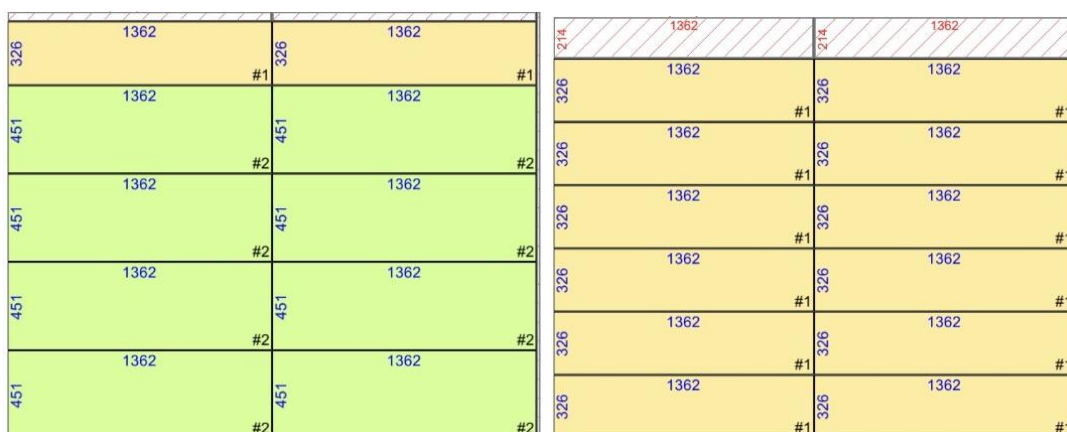
TABELA 8 – RESULTADOS CHAPA 12 MM SKETCHCUT LITE.

<i>MATERIAL</i>	<i>COMPRIMENTO (MM)</i>	<i>LARGURA (MM)</i>	<i>PADRÕES GERADOS</i>	<i>QUANTIDADE DE CHAPAS</i>	<i>% MÉDIA DE PERDA</i>
MDP CRU 12MM	2750	2200	2	584	6,43

FONTE: Adaptado SketchCut Lite (2021).

No resultado apresentado, foram utilizadas 584 chapas, sendo a largura de 2200 mm, cortadas pela direção do comprimento. A porcentagem média de perda por padrão foi de 6,43, com dois padrões gerados. Esses padrões podem ser observados na FIGURA 25, onde as linhas tracejadas são as perdas, e os itens estão representados por números e cores diferentes.

FIGURA 25 – PADRÕES DE CORTE CHAPA 12 MM X 2200 MM SKETCHCUT LITE.



FONTE: Adaptado SketchCut Lite (2021).

4.2.2 Chapas MDP 15 mm SketchCut Lite

Na TABELA 1 estão definidas chapas de 15 mm com duas diferentes larguras possíveis para atender a demanda dos itens. No teste com os resultados apresentados na TABELA 9 foram utilizadas apenas chapas com largura 2200 mm.

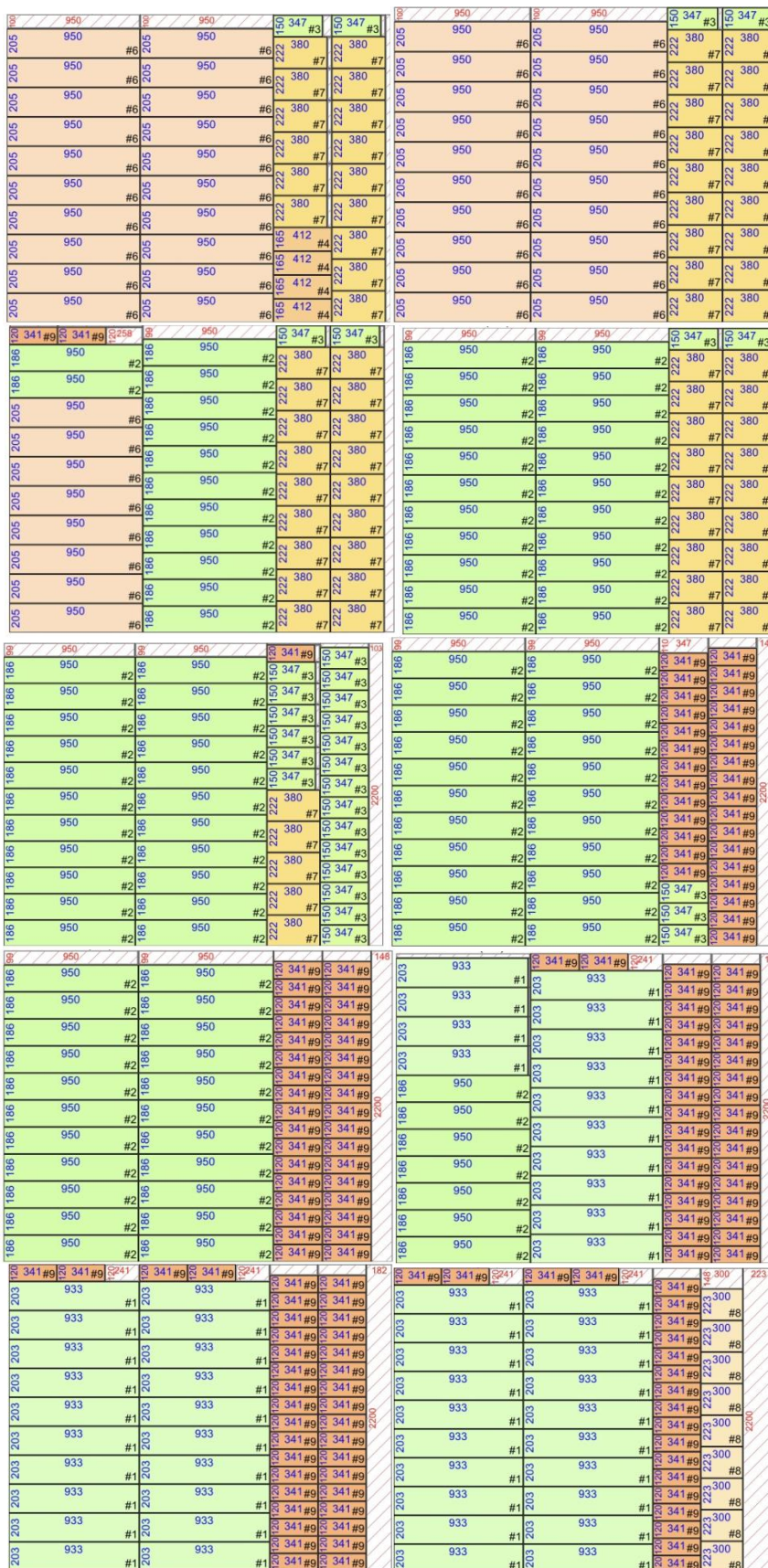
TABELA 9 – RESULTADOS CHAPA 15 MM SKETCHCUT LITE.

MATERIAL	COMPRIMENTO (MM)	LARGURA (MM)	PADRÕES GERADOS	QUANTIDADE DE CHAPAS	% MÉDIA DE PERDA
MDP CRU 15MM	2750	2200	18	391	4,2

FONTE: Adaptado SketchCut Lite (2021).

Foram gerados 18 padrões com uma porcentagem média de perda de 4,2, sendo necessárias 391 chapas, cortadas pela orientação da largura. AS FIGURAS 26 e 27 representam os padrões gerados.

FIGURA 26 – PADRÕES DE CORTE CHAPA 15 MM X 2200 MM SKETCHCUT LITE.



FONTE: Adaptado SketchCut Lite (2021).

4.2.3 Chapas MDP 25 mm SketchCut Lite

Diferente das chapas com espessuras de 12 mm e 15 mm, as de 25 mm utilizaram aquelas com largura 1850 mm para obter o melhor resultado dentre os testados. Os resultados estão na TABELA 10.

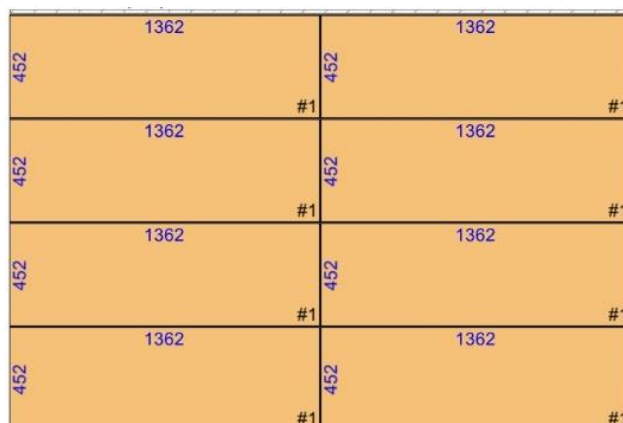
TABELA 10 – RESULTADOS CHAPA 25 MM SKETCHCUT LITE.

<i>MATERIAL</i>	<i>COMPRIMENTO (MM)</i>	<i>LARGURA (MM)</i>	<i>PADRÕES GERADOS</i>	<i>QUANTIDADE DE CHAPAS</i>	<i>% MÉDIA DE PERDA</i>
MDP CRU 25MM	2750	1850	1	125	2

FONTE: Adaptado SketchCut Lite (2021).

As 125 chapas necessárias para atender a demanda foram cortadas pela direção do comprimento e utilizaram apenas um padrão de corte. Esse padrão de corte esta ilustrado na FIGURA 28.

FIGURA 28 – PADRÕES DE CORTE CHAPA 25 MM X 1850 MM SKETCHCUT LITE.



FONTE: Adaptado SketchCut Lite (2021).

4.2.4 Resultados SketchCut Lite

Com os dados para os três tipos de chapas gerados, a TABELA 11 apresenta os dados totais, onde a primeira coluna trás as quantidades de chapas necessárias de 12 mm, 15 mm e 25 mm somadas, e a segunda coluna a porcentagem média de perda geral.

TABELA 11 – RESULTADOS SKETCHCUT LITE.

	<i>QUANTIDADE DE CHAPAS</i>	<i>% MÉDIA DE PERDA</i>
TOTAL	1.100	4,2

FONTE: O autor (2021).

Para o SketchCut Lite, são necessárias 1.100 chapas ao total, tendo uma perda geral de 4,2% para atender a quantidade de itens necessários.

4.3 ANÁLISES DOS RESULTADOS

Com os resultados apresentados, a fim de compreender a importância da aplicação do problema de corte bidimensional nas indústrias, foram feitas análises e comparações com os padrões utilizados pela empresa atualmente.

É importante ressaltar que a empresa utiliza de critérios diferentes para a escolha dos padrões para aplicação, onde em alguns momentos os melhores gerados não se tornam viáveis, devido às restrições impostas, sendo dois tipos de chapas com larguras diferentes utilizadas, e duas máquinas de corte onde somente uma permite a rotação.

Para as chapas de 12 mm, assim como feito pela empresa e apresentado na TABELA 3, o melhor resultado obtido pelos softwares foi com a utilização das chapas de largura 2200 mm. Analisando as TABELAS 3, 4 e 8, é possível fazer a comparação de perdas de cada padrão gerado e a quantidade de chapas utilizadas. Na TABELA 12, essa comparação é apresentada em porcentagem.

TABELA 12 – ANÁLISE CHAPAS 12 MM.

<i>SOFTWARE</i>	<i>COMPRIMENTO (MM)</i>	<i>LARGURA (MM)</i>	<i>% PERDA</i>	<i>% QUANTIDADE CHAPAS</i>
CorteBifur	2750	2200	=	=
SketchCut Lite	2750	2200	24	0,68

FONTE: O autor (2021).

As duas últimas colunas da TABELA 12 representam a porcentagem de perda em comparação ao praticado pela empresa e a quantidade de chapas utilizadas. No software CorteBiFur, a perda e a quantidade de chapas utilizadas são as mesmas que a da empresa sendo representadas pelo sinal de igual. Já no software SketchCut Lit, houve uma perda 24% maior que ao da empresa sendo utilizadas 0,68% de chapas a mais.

Com isso, mesmo tendo os padrões com desenhos diferentes, FIGURAS 19 e 21, o software CorteBiFur obteve os mesmos resultados que a empresa.

Os resultados obtidos para chapas de 15 mm tiveram uma diferença maior comparados com os praticados atualmente. Essa diferença se deve pelas restrições que a empresa possui, não sendo possíveis de aplica-las nos softwares. As restrições são: a utilização dos dois tipos de chapas 15 mm, para gerar os padrões e a utilização de duas máquinas de corte no seu processo produtivo, onde apenas uma permite a rotação das placas. A comparação para as chapas 15 mm está na TABELA 13.

TABELA 13 – ANÁLISE CHAPAS 15 MM.

<i>SOFTWARE</i>	<i>COMPRIMENTO (MM)</i>	<i>LARGURA (MM)</i>	<i>% PERDA</i>	<i>% QUANTIDADE CHAPAS</i>
CorteBiFur	2750	2200	-46	-8
SketchCut Lite	2750	2200	-50	-0,25

FONTE: O autor (2021).

Diferente da empresa, os softwares utilizaram apenas as chapas com largura 2200 mm. Diante o exposto, e do fato que nos testes não foi possível aplicar ao mesmo tempo a opção de permitir ou não a rotação, a perda no CorteBiFur foi 46% menor do que a empresa, e no SketchCut Lite 50% menor. Já em relação a

quantidade de chapas, no primeiro software houve uma redução de 8% na quantidade necessária, e no segundo, a redução de 0,25% de chapas para atender a demanda.

Esses resultados mostram aquilo que foi descrito no começo deste subcapítulo, em que as empresas utilizam critérios diferentes para a gerar os padrões, respeitando as restrições impostas.

As chapas de espessura 25 mm foram utilizadas apenas com a largura de 1850 mm, gerando o melhor padrão para a produção demandada. Os resultados para esta chapa foram os mais aproximados com os da empresa. É possível observar essa comparação através da TABELA 14.

TABELA 14 – ANÁLISE CHAPAS 25 MM.

<i>SOFTWARE</i>	<i>COMPRIMENTO (MM)</i>	<i>LARGURA (MM)</i>	<i>% PERDA</i>	<i>% QUANTIDADE CHAPAS</i>
CorteBiFur	2750	1850	=	=
SketchCut Lite	2750	1850	-37,3	=

FONTE: O autor (2021).

A perda e a quantidade de chapas utilizadas pelo software CorteBiFur foram as mesmas que a empresa, sendo representado pelo sinal de igual na TABELA 14. Já para o software SketchCut Lite, a perda foi 37,3% menor que o da empresa, utilizando a mesma quantidade de chapas. Essa perda menor é resultado da diferença da espessura da serra em relação à empresa, explicado anteriormente.

Além dos resultados serem aproximados, o desenho do padrão de corte foi o mesmo para o software SketchCut Lite, é possível observar essa semelhança nas FIGURAS 20 e 27.

Com os dados e as quantidades somadas, TABELAS 7 e 11, é possível fazer uma análise ampla. A TABELA 15 trás uma comparação desses dados em relação aos praticados pela empresa.

TABELA 15 – ANÁLISE GERAL.

<i>SOFTWARE</i>	<i>% PERDA</i>	<i>% QUANTIDADE CHAPAS</i>
CorteBiFur	-32	-2,7
SketchCut Lite	-33	0,27

FONTE: O autor (2021).

Em relação a perda total pela média de todas as chapas utilizadas, de acordo com a primeira coluna, o software CorteBiFur tem uma redução de 32%, já o software SketchCut Lite a perda é 33% menor, comparados com a empresa. Os dados da segunda coluna mostram que a quantidade de chapas utilizadas pelo primeiro software é 2,7% menor do que a quantidade utilizada pela empresa, e o segundo, utiliza uma quantidade de chapas 0,27% a mais.

Com esses dados é possível definir que, se o critério para a escolha dos melhores padrões for a redução de perda do material, a melhor opção será utilizar os padrões de corte do software SketchCut Lite. Já se a finalidade for a redução de chapas utilizadas, o melhor será os gerados pelo software CorteBiFur.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo realizado através da utilização de dois *softwares* diferentes para gerar os padrões de corte, é de grande importância, pois os resultados obtidos através da simulação de um painel de televisão que utilizam diferentes chapas MDP, mostram que a aplicação de técnicas de otimização são essenciais para o processo produtivo da empresa que deseja minimizar perdas desnecessárias.

Além da redução de desperdício de material e custos, com a utilização de *softwares* é possível economizar tempo, pois geram resultados satisfatórios em um curto intervalo de tempo, e também a geração de resultados gráficos, facilitando a visualização dos itens no processo de corte.

Os dois *softwares*, CorteBifur e SketchCute Lite, obtiveram resultados parecidos com os da empresa, porém, a aplicação de diferentes restrições acabam gerando soluções mais otimizadas que aquelas praticadas atualmente, onde a diferença chega a 32% de perda a menos pelo CorteBifur e 33% a menos pelo SketchCute Lite.

Em relação aos dois *softwares*, apesar de utilizarem métodos diferentes para a geração dos padrões, CorteBiFur com heurísticas e métodos exatos, e SketchCute Lite apenas com heurísticas, ambos obtiveram resultados parecidos e satisfatórios para os testes.

Os testes foram realizados para uma empresa de médio porte, porém é de se notar que os *softwares* utilizados são de grande importância para empresas menores, por serem livres e de fácil acesso.

Com os resultados obtidos, é possível comprovar a importância da realização de testes com *softwares* diferentes e com diferentes restrições para a geração de padrões, contribuindo para a avaliação da eficiência de diferentes métodos utilizados.

Como trabalhos futuros sugere-se a continuidade do tema deste trabalho buscando novos métodos e softwares que permitam aplicar todas as restrições impostas pela empresa a fim de testar com mais precisão e escolher através de comparações os melhores padrões para a aplicação.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Eduardo Leopoldino de. **Introdução à pesquisa operacional: métodos e modelos para análise de decisões**. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

ARENALES, Marcos *et al.* **Pesquisa operacional: para cursos de engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

BRESSAN, Glaucia Maria; BELINELLI, Eduardo Oliveira. Modelagem e solução de problemas de corte e empacotamento por meio da programação linear. **C.Q.D.– Revista Eletrônica Paulista de Matemática**, Bauru, v. 8, p. 15-28, dez. 2016. Edição Iniciação Científica. Disponível em: <http://www.fc.unesp.br/#!/departamentos/matematica/revista-cqd/>. Acesso em: 20 jul. 2021.

CARNEIRO, Felipe Marcus. **Avaliação de Métodos Heurísticos para a Solução do Problema de Programação Flowshop com Tempos de Setup Assimétricos e Dependentes da Sequência**. 2010. 181 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

CARVALHO, João M. S. **Introdução à Investigação Operacional**. Portugal. Bubok Publishing, 2014.

CECILIO, Fabiana Oliveira; MORABITO, Reinaldo. Heurísticas para o problema de carregamento de carga dentro de contêineres. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2003, Natal. **Anais**

Cenário de Móveis no Brasil: Produção e Consumo. **Mega Moveleiros**, 2021. Disponível em: <http://www.megamoveleiros.com.br/cenario-de-moveis-no-brasil-producao-e-consumo/>. Acesso em: 28 de outubro de 2021.

CHERRI, Adriana Cristina; VIANNA, Andréa Carla Gonçalves. Heurísticas para o Problema de Corte Bidimensional com sobras Aproveitáveis *In*: XLI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2009, Porto Seguro - BA. **Anais**

CHERRI, Adriana Cristina; VIANNA, Andréa Carla Gonçalves. Introdução a Problemas de Corte de Estoque. *In*: V SIMPÓSIO DE MATEMÁTICA, 2010, Presidente Prudente-SP. **Anais** [...]. Disponível em: <http://www.fc.unesp.br/~adriana/curiosidades/Cortes.pdf> Acesso em: 15 jul. 2020.

CONSTANTINO, Ademir Aparecido; GOMES JUNIOR, Augusto Mendes. Um algoritmo genético híbrido para o problema de corte industrial bidimensional. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 6, p. 1727-1731, 2002. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/277213649_Um_algoritmo_genetico_hibrido_para_o_problema_de_corte_industrial_bidimensional. Acesso em: 16 jul. 2020.

COSTA, Lucas Leonardo Silveira. **Um estudo sobre o problema de corte de estoque bidimensional 2-estágios**. 2016. 103 f. Dissertação (Mestrado em Matemática Aplicada) – Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

GANGA, Gilberto Miller Devós. **Metodologia Científica e Trabalho de Conclusão de Curso (TCC): um guia prático de conteúdo e forma**. São Carlos: UAB-UFSCar, 2011.

HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J. **Introdução à pesquisa operacional**. São Paulo: McGraw-Hill, 2013.

LOESCH, Claudio; HEIN, Nelson. **Pesquisa operacional**. São Paulo: Saraiva, 2017.

MDP ou MDF? Conheça as diferenças. **MadeiraMadeira**, 2018. Disponível em: <<https://www.madeiramadeira.com.br/central-de-dicas/artigos/mdf-ou-mdp-conheca-as-diferencas>>. Acesso em: 10 de setembro de 2021.

MOSQUERA, Gabriela Perez. **Contribuições para o Problema de Corte de Estoque Bidimensional na Indústria Moveleira**. 2007. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Matemática Aplicada) - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, Campus de São José do Rio Preto - SP, [S. l.], 2007.

NASCIMENTO, Francisco Paulo do; SOUSA, Flávio Luís Leite. **Metodologia da Pesquisa Científica: teoria e prática – como elaborar TCC**. Brasília: Thesaurus, 2016.

O que é MDP? Qual a diferença do MDF e compensado? **Total Construção**, 2020. Disponível em: <<https://www.totalconstrucao.com.br/o-que-e-mdp/>>. Acesso em: 10 de setembro de 2021.

RANGEL, S. et al., **CorteBiFur - Corte Bidimensional retangular em dois estágios**. Manual do Programa de computador registrado - UNESP-SJRP, Departamento de Matemática Aplicada. 2019.

RANGEL, S.; FIGUEIREDO, A. G. DE. **O problema de corte de estoque em indústrias de móveis de pequeno e médio portes**. Pesquisa Operacional, v. 28, n. 3, 2009.

REHFELDT, Márcia Jussara Hepp. Estudo da viabilidade dos usos da pesquisa operacional em uma vinícola da Serra Gaúcha. **DIÁLOGO**, Canoas, n. 28, p. 147-164, abr. 2015. Disponível em: <https://revistas.unilasalle.edu.br/index.php/Dialogo/article/view/1753>. Acesso em: 15 jul. 2021.

RODRIGUES, Luís Henrique *et al.* **Pesquisa operacional: programação linear passo a passo**. São Leopoldo: Unisinos, 2014.

SANTOS, Silvia Maria Pereira Grandi. **Modelagem do Problema Integrado de Dimensionamento do Lotes e Corte de Estoque numa Indústria Moveleira**. 2008. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Matemática) - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, Campus de São José do Rio Preto - SP, [S. l.], 2008.

SILVA, Ermes Medeiros da *et al.* **Pesquisa operacional: programação linear**. São Paulo: Atlas, 1998.

SILVA, E. L. da; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. Departamento de Ciência da Informação. Florianópolis: UFSC, 2005.

TAHA, Hamdy A. **Pesquisa operacional**. São Paulo: Pearson, 2008.

TALI SOFTWARE, **SketchCut Lite – Fast Cutting**. Disponível em: <<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.fortali.mapcut&hl=pt&gl=US>>. Acesso em: 15 de setembro de 2021.

TEODORO, A. A. **O Problema do Corte Bidimensional**: uma abordagem utilizando o método de geração de colunas. 2003.

VELASCO, André Soares. **GRASP para o problema de corte bidimensional guilhotinado e restrito**. 2005. 108 f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Engenharia) – Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campo dos Goytacazes, 2005.