

RICARDO ALENCAR SOUSA
JULIANA VERGA SHIRABAYASHI

UM ESTUDO SOBRE O PROBLEMA DE CORTE BIDIMENSIONAL COM PEÇAS IRREGULARES EM UMA EMPRESA TÊXTIL



EDITORA CONHECIMENTO LIVRE

1ª ed.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Sousa, Ricardo Alencar. Shirabayashi, Juliana Verga.

S725e Um estudo sobre o problema de corte bidimensional com peças irregulares em uma empresa têxtil. Ricardo Alencar Sousa. Juliana Verga Shirabayashi – Piracanjuba-GO: Editora Conhecimento Livre, 2020.

60 f.: il.

ISBN: 978-65-86072-27-3

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

1. Corte bidimensional. 2. Peças irregulares. 3. Método heurístico.

I. Sousa, Ricardo Alencar. I. Título.

CDU: 658.5

Ricardo Alencar Sousa
Juliana Verga Shirabayashi

Um estudo sobre o problema de corte bidimensional com peças irregulares
em uma empresa têxtil

1ª ed.

Piracanjuba
Editora Conhecimento Livre
2020

Sumário

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	3
LISTA DE ALGORITMOS	5
LISTA DE TABELAS	6
PALAVRAS-CHAVE: CORTE BIDIMENSIONAL. PEÇAS IRREGULARES. MÉTODO HEURÍSTICO.AGRADECIMENTOS	8
1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 JUSTIFICATIVA.....	11
1.2 OBJETIVOS	11
1.2.1 OBJETIVO GERAL	11
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
1.3 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 PESQUISA OPERACIONAL	12
2.2 PROGRAMAÇÃO LINEAR	15
2.3 PROBLEMA DE CORTE	16
2.3.1 PROBLEMA DE CORTE DE PEÇAS IRREGULARES	22
2.3.1.1 REPRESENTAÇÃO DOS ITENS	23
2.3.1.2 MODELOS MATEMÁTICOS.....	26
2.4 MÉTODOS HEURÍSTICOS	30
2.4.1 HEURÍSTICAS PARA O PROBLEMA DE CORTE	30
3 MATERIAL E MÉTODOS	36
3.1 ENQUADRAMENTO DA PESQUISA.....	36
3.2 FERRAMENTA DE COLETA DE DADOS	37
3.3 FERRAMENTA ANÁLISE DE DADOS	37
3.4 ETAPAS DA PESQUISA	38

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	39
4.1 DESCRIÇÃO DO CASO	39
4.2 APROXIMAÇÃO POR RETÂNGULOS	47
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	54
REFERÊNCIAS	55

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - FASES DE UM ESTUDO DE PESQUISA OPERACIONAL.....	13
FIGURA 2 - PEÇA L	17
FIGURA 3 - PADRÃO DE CORTE I	18
FIGURA 4 - PADRÃO DE CORTE II	18
FIGURA 5 - PADRÃO DE CORTE III	18
FIGURA 6 - CORTE GUILHOTINADO HORIZONTAL E VERTICAL	19
FIGURA 7 - ETAPAS DO CORTE COM UM PADRÃO 3 ESTÁGIOS.....	20
FIGURA 8 - CAIXAS EM UM CONTÊINER	20
FIGURA 9 - ENCAIXE DE MANUFATURA DE ROUPAS	22
FIGURA 10 - REPRESENTAÇÃO 0 – 1	23
FIGURA 11 - REPRESENTAÇÃO 0 – 4	23
FIGURA 12 - VALORES DE D	24
FIGURA 13 - NOFIT POLYGON	25
FIGURA 14 - ENCAIXE DE 6 POLÍGONOS	27
FIGURA 15 - ETAPAS DA PESQUISA	38
FIGURA 16 - CAMISETA GOLA POLO.....	39
FIGURA 17 - ENCAIXE AUTOMÁTICO	43
FIGURA 18 - MÁQUINA DISCO	44
FIGURA 19 - MÁQUINA DE CORTE À FACA	44
FIGURA 20 - ENFESTOS COM MOLDE	45
FIGURA 21 - ETAPAS DO PROCESSO DE CORTE.....	46
FIGURA 22 – PEÇAS	47
FIGURA 23 - PLACA 1, PADRÃO 1	48
FIGURA 24 - PLACA 2, PADRÃO 1	49

FIGURA 25 - PLACA 1, PADRÃO 2	50
FIGURA 26 - PLACA 2, PADRÃO 2	51
FIGURA 27 - PADRÃO 3.....	52

LISTA DE ALGORITMOS

ALGORITMO 1 - FFD	31
ALGORITMO 2 - BOTTOM-LEFT CONTÍNUA	34
ALGORITMO 3 - TOP-BOTTOM-LEFT CONTÍNUA	36

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - DEMANDA.....	40
TABELA 2 - MOLDE COSTAS	41
TABELA 3 - MOLDE FRENTE	41
TABELA 4 - MOLDE MANGA COM PUNHO	42
TABELA 5 - MOLDE VISTA	42
TABELA 6 - AUDACES	42
TABELA 7 - ITENS POR ÁREA	48
TABELA 8 - PADRÃO DE CORTE 1	49
TABELA 9 - PLACA 1, PADRÃO 1	49
TABELA 10 - PLACA 2, PADRÃO 1	50
TABELA 11 - PLACA 1, PADRÃO 2	51
TABELA 12 - PLACA 2, PADRÃO 2	51
TABELA 13 - PADRÃO 3	52

UM ESTUDO SOBRE O PROBLEMA DE CORTE BIDIMENSIONAL COM PEÇAS IRREGULARES EM UMA EMPRESA TÊXTIL

Ricardo Alencar Sousa

Juliana Verga Shirabayashi

Resumo: Este trabalho tem como objetivo aplicar o problema de corte bidimensional com peças irregulares em uma empresa do segmento têxtil, localizada na cidade de Jandaia do Sul, norte do Paraná. O problema de corte de peças irregulares é tão ou mais complexo que o de peças regulares e seu estudo é de extrema importância para problemas práticos, sobretudo relacionado ao segmento têxtil, onde, geralmente não é possível realizar cortes em formatos regulares.

Neste trabalho, além do estudo de trabalhos correlatos, foram coletados os dados reais do processo de corte na empresa CJ Uniformes, a partir de um pedido de confecção de camisetas gola polo de diferentes tamanhos. Várias informações foram coletadas, tais como: as medidas do material a ser cortado e dos itens gerados, e a demanda de cada peça, para que fosse possível analisar a atual situação da empresa, em relação a perda que foi gerada no processo de corte. Diante disso, através de um estudo sobre o problema de corte e suas variantes, via revisão de literatura e a partir da coleta de dados da empresa, utilizou-se métodos heurísticos para gerar padrões de corte que minimizem as sobras de matéria prima e consequentemente os custos no processo produtivo. Comparações com os dados obtidos através do software utilizado pela empresa foram realizadas e os resultados encontrados pelo método heurístico aplicado foram satisfatórios.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Antonia e Valdemar, por todos os ensinamentos, motivação, amor e carinho em toda a minha vida.

Agradeço ao meu irmão, Bruno, pelo amor e o apoio incondicional de sempre.

Agradeço aos meus amigos, por todos os momentos vivenciados.

Agradeço à minha orientadora, Juliana, pela paciência, dedicação e contribuição para a realização desse trabalho.

Muito obrigado a todos que tornaram essa pesquisa realidade.

1 INTRODUÇÃO

A Pesquisa Operacional (PO) tem sido cada vez mais recorrente nas organizações, visto sua contribuição para uma gestão mais eficiente de recursos, assim se torna fundamental seu conhecimento e sua aplicação para que as empresas possam se diferenciar em um mercado cada vez mais competitivo.

Arenales et al. (2015), comprovam a importância da PO ao explicarem que ela busca estabelecer métodos para contribuir na análise de sistemas complexos, tendo como objetivo prever e auxiliar na tomada de decisões. Esses métodos são resultados da programação matemática, que estabelecem modelos matemáticos ao representar um problema real, sendo que variáveis são definidas e as relações entre elas são determinadas de modo a descrever o comportamento do sistema.

Um dos problemas estudados pela PO é o problema de corte, que segundo Morábito (1994), busca cortar unidades maiores em unidades menores de modo a minimizar o desperdício de material ao arranjar um corte específico. Os objetos em estudo podem ser barras de aço, bobinas de papel, alumínio, tecido, placas metálicas, placas de madeira, chapas de vidro, dentre outros. O objetivo do problema de corte é atender a demanda dos produtos, de modo a minimizar os custos com o processo produtivo (ANDRADE et al., 2008). Segundo Constantino e Junior (2002), o problema de corte é classificado como NP-difícil, já que para se obter a solução ótima é necessário muito tempo computacional. Uma alternativa para esse problema seria utilizar métodos heurísticos, que garantem uma solução boa e com um menor tempo computacional.

Diferentes variantes surgem ao estudar o problema de corte e uma delas é o problema de corte de peças irregulares. Tal problema é encontrado sobretudo em empresas do segmento têxtil e é ainda mais complexo que o problema de corte de peças regulares, devido aos formatos diversos que surgem durante o processo e que, em geral, não se coincidem com figuras geométricas conhecidas, fato que dificulta o processo de solução do mesmo.

Dessa forma esta pesquisa tem como objetivo responder a seguinte questão: Qual é o plano de corte ideal no processo de produção de um pedido de camisetas gola polo para que uma empresa situada em Jandaia do Sul, no norte do Paraná, tenha um maior aproveitamento de seus recursos?

1.1 JUSTIFICATIVA

A principal razão para a escolha do tema proposto é que apesar do problema de corte ser muito estudado, ainda há poucos trabalhos com peças irregulares, principalmente com aplicações práticas no segmento têxtil. Segundo Oliveira e Lima (2017), hoje, o Brasil está em quinto na produção têxtil do mundo, e o Paraná é o quarto maior gerador de empregos na área.

É de suma importância analisar e identificar as melhores posições no encaixe de moldes para reduzir os desperdícios. De acordo com Alves et al. (2009), o uso da tecnologia em conjunto com o problema de encaixe auxilia no processo produtivo da indústria do vestuário, sobretudo no caso de pequenas empresas. Para o supervisor da organização considerada, o tema proposto visa buscar melhorias no processo de corte de tecidos, com um novo padrão de encaixe de moldes, o que gera ganho de tecido ou a redução de desperdícios de material.

Para fins acadêmicos, este estudo é fundamental, pois os assuntos abordados, como os de planejamento e controle da produção, e o problema de corte, representam disciplinas teóricas estudadas durante o curso, sendo relacionadas ao dia a dia da empresa. A troca de conhecimento entre alunos e profissionais da indústria contribui de forma significativa para a formação acadêmica do aluno, enquanto engenheiro de produção.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo estudar o problema de corte, e obter um plano de corte para o processo produtivo de um pedido de camisetas gola polo em uma empresa têxtil, por meio de recursos computacionais com o auxílio de métodos heurísticos, a fim de reduzir desperdícios, e, conseqüentemente, minimizar os custos de produção.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) Estudar diferentes métodos de heurísticas para o problema de corte bidimensional irregular.
- b) Coletar dados referentes ao problema de corte bidimensional em uma empresa têxtil;
- c) Identificar melhorias no processo de corte de tecidos da empresa;

- d) Analisar os resultados obtidos a partir dos testes computacionais realizados e comparar com aqueles praticados pela empresa.

1.3 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

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

Capítulo 1: apresenta a contextualização seguida da problemática de pesquisa, justificativa e objetivos.

Capítulo 2: expõem o referencial teórico, com a origem, conceitos, e passos da implementação da pesquisa operacional; etapas para a modelagem matemática e modelo de programação linear; corte unidimensional, bidimensional e tridimensional; e os métodos heurísticos para a resolução dos problemas de corte.

Capítulo 3: revelam os procedimentos metodológicos, iniciando com o enquadramento metodológico da pesquisa, seguido pelas definições da população de análise e sua respectiva amostra de pesquisa, especificação dos métodos de coleta e análise dos dados e, por fim, os passos a serem percorridos para alcançar os objetivos propostos.

Capítulo 4: apresenta os resultados apresentados e suas análises.

Capítulo 5: traz um resumo dos principais resultados encontrados seguido pelas limitações desta pesquisa assim como a sugestão de trabalhos futuros.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo apresenta-se os principais conceitos utilizados no trabalho. Para maiores detalhes sobre as ideias aqui abordadas, consultar Arenales et al.

(2015), Bennel e Oliveira (2008), Bressan e Belinelli (2016), Poldi e Arenales (2006), Rodrigues et al (2014) e Vianna e Poldi (2005).

2.1 PESQUISA OPERACIONAL

Segundo Hillier e Lieberman (2013), um problema comum é que de acordo com o aumento da complexidade das organizações, se torna mais difícil designar os recursos disponíveis para as diversas operações do modo mais eficiente, assim a Pesquisa Operacional surge da necessidade de se encontrar o melhor caminho para solucionar esses problemas.

A Pesquisa Operacional surgiu durante a Segunda Guerra Mundial (1939- 1945), na Inglaterra, com o objetivo de solucionar problemas de ordem logística, tática e de estratégia militar, quando cientistas tiveram que determinar a utilização mais eficaz dos recursos militares limitados, em problemas como: projeto, manutenção e inspeção de aviões; projetos de explosivos, tanques e motores; melhoria da utilização de radar, canhões antiaéreos e táticas de bombardeios a submarino; dimensionamento de frota, entre outros (BELFIORE E FÁVERO, 2013).

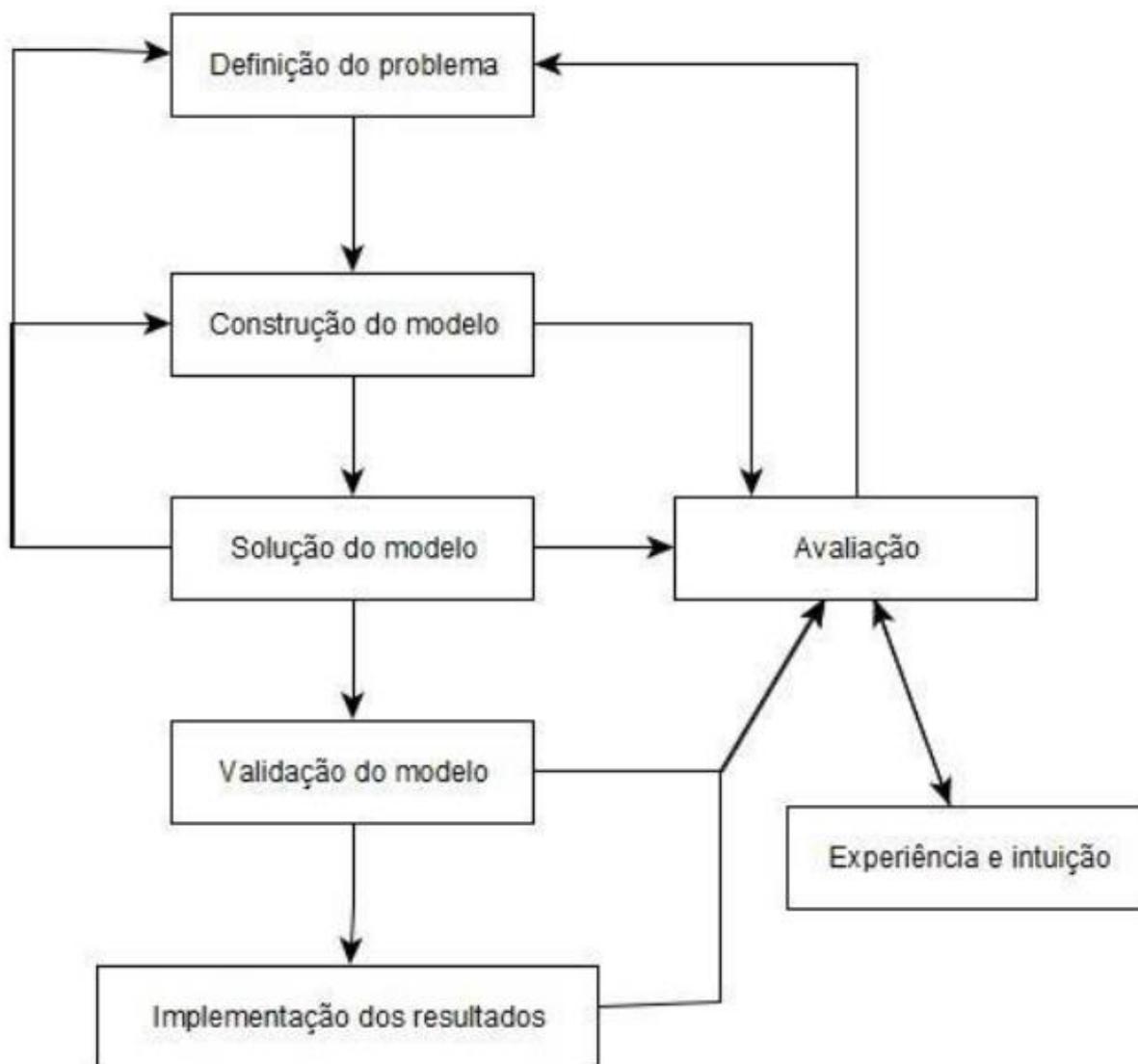
Arenales et al. (2015), explicam que a partir de 1950, a Pesquisa Operacional passou a ser usado em uma série de problemas vindos dos setores públicos e privados. No campo da Engenharia de Produção, a Pesquisa Operacional costuma ser aplicada nos setores de produção e logística (cadeias de suprimento), como em questões de planejamento, programação e controle da produção e problemas de planejamento e operações logísticas.

A Pesquisa Operacional é um método científico, que consiste em descrever um sistema organizado com o auxílio de um modelo, e por meio da experimentação busca descobrir a melhor maneira de operar o sistema (SILVA et al., 1998).

Taha (2008), define a Pesquisa Operacional como uma ciência e também como uma arte. É ciência devido aos métodos matemáticos que ela utiliza, e é uma arte devido ao fato do êxito das fases que resultam na solução do modelo matemático depender principalmente da criatividade e da experiência da equipe de pesquisa operacional. O autor sugere a divisão da implementação da Pesquisa

- a. Operacional em cinco fases:
 - a) Definição do problema;
 - b) Construção do modelo;
 - c) Solução do modelo;
 - d) Validação do modelo;
 - e) Implementação da solução.

FIGURA 1 - FASES DE UM ESTUDO DE PESQUISA OPERACIONAL



FONTE: Andrade (2015).

Para Andrade (2000), a utilização de modelos facilita muito o processo de análise de decisão, já que isso permite a experimentação, ou seja, uma decisão é melhor avaliada e testada antes de ser efetivamente implementada.

Segundo Chiavenato (2004), as definições de Pesquisa Operacional variam desde técnicas matemáticas determinadas até o método científico em si.

O autor também demonstra essas definições por meio de três aspectos básicos regulares à análise da Pesquisa Operacional na tomada de decisão administrativa:

- a) Visão sistêmica dos problemas a serem resolvidos;

- b) Uso do método científico na resolução de problemas;
- c) Uso de técnicas específicas de estatística, probabilidade e modelos matemáticos para ajudar o tomador de decisão a resolver o problema.

2.2 PROGRAMAÇÃO LINEAR

De forma genérica, a Programação Linear analisa formas de solucionar problemas de otimização modelados por variáveis contínuas, as quais apresentam equações lineares (BRESSAN E BELINELLI, 2016).

Para Clímaco et al. (2003), um problema de Programação Linear trata-se de minimizar ou maximizar uma função linear de várias variáveis, conhecida como função objetivo, em que as variáveis estão submetidas a um conjunto de restrições também lineares. As variáveis de decisão são níveis de atividades, e as restrições podem resultar de limitações no número de recursos ou de metas mínimas que devem ser atingidas e a função objetivo representa um indicador do desempenho do sistema.

Com o objetivo de construir um modelo de Programação Linear, os autores Goldbarg et al. (2015) sugerem as seguintes etapas:

- a) Definição das atividades: Por meio da análise do problema, as atividades do modelo são definidas. Normalmente uma atividade, que está associada a uma unidade de medida, consome ou produz recursos, influenciando no valor das variáveis do modelo.
- b) Definição dos recursos: Os recursos referem-se aos insumos ou resultados que são utilizados ou produzidos pelas atividades.
- c) Cálculo dos coeficientes de insumo e produção: Os modelos devem ter de forma clara a relação entre as atividades e os recursos, sendo que os recursos limitam o desenvolvimento das atividades, enquanto os produtos obrigam a execução da atividade.
- d) Determinação das condições externas e condicionamentos internos: Levando em consideração que os recursos são limitados na prática, deve-se definir a quantidade de cada insumo que está disponível para os processos demonstrados. Os recursos realizados no próprio modelo, ou produtos, são condicionantes internos e tratados de modo análogo aos insumos.
- e) Formalização do modelo: Cada quantidade não negativa é associada a uma atividade, e equações representam a relação de atividades, recursos e variáveis de decisão. As funções

objetivo, que consideram essas equações, devem ser geradas, de modo que indique a finalidade do funcionamento do modelo.

Para Carvalho (2014) um modelo de Programação Linear pode ser feito do seguinte modo:

Maximizar/minimizar: $Z = \sum c_j x_j$,

Sujeito a: $r_j = \sum a_{ij} x_j \{ \geq | = | \leq \} b_i, x_1, \dots, x_n \geq 0$.

Z indica o valor da medida de desempenho geral que deve ser otimizado, como o lucro, custos, desperdício, área utilizada, dentre outros. x_j representa as variáveis de decisão, com j variando de 1 até n (número total de variáveis). c_j são os coeficientes da função objetivo que interferem no valor de Z, com j variando, também, de 1 até n. a_{ij} indicam coeficientes técnicos, sendo que a quantidade do recurso i é consumida por unidade de atividade j; e b_i representa o termo independente de determinada restrição, ou seja, é a capacidade do recurso i em relação a alocação nas atividades x_j , i varia de 1 até m (número de restrições).

A Programação Linear está alcançando grande aceitação em diversos setores, graças à disponibilidade de informações detalhadas e ao interesse de reduzir custos por meio da otimização dos processos. Diversos fornecedores de software oferecem alternativas de otimização em conjunto com os sistemas de planejamento de recursos empresariais, conhecidos em algumas empresas como opção de planejamento avançado, planejamento sincronizado, e otimização de processos (JACOBS E CHASE, 2009).

2.3 PROBLEMA DE CORTE

Em processos produtivos, em geral, é recorrente a necessidade de se cortar peças maiores em itens menores de diversos tamanhos, para que seja possível atender toda a demanda. O problema de corte tem como objetivo selecionar padrões de corte de materiais, como rolos de papel, chapas metálicas, dentre outros, de forma a minimizar a quantidade de material utilizada ou resultar na menor perda possível, uma vez que são geradas sobras de materiais, que na maioria das vezes, não são reutilizadas (BRESSAN E BELINELLI, 2016).

De acordo com Arenales et al. (2015), o problema de corte possui três classificações possíveis. O problema é considerado unidimensional quando apenas uma dimensão é relevante no corte, como

em barras de aço, bobinas de papel, rolos de filme etc., bidimensional com duas dimensões relevantes, por exemplo, placas de madeira, tecido, chapas de aço etc., ou ainda tridimensionais, nos quais são relevantes três dimensões, como cortes de blocos de espuma para a manufatura de colchões e travesseiros.

Ainda segundo Arenales et al. (2015), o corte unidimensional trata-se de cortar barras disponíveis de tamanho L , para a produção de m tipos de itens (barras de tamanhos menores) com tamanhos l_1, l_2, \dots, l_m , e demandas, b_1, b_2, \dots, b_m . O problema tem como meta minimizar o número de barras utilizadas, sendo que há um número máximo de barras disponíveis n .

A primeira modelagem do corte unidimensional refere-se a Kantorovich (1939 apud Arenales et al., 2015), e é mostrada a seguir.

Em um primeiro momento são definidas as variáveis.

a) $Y_i = 1$, se a barra i é cortada;

b) $Y_i = 0$, caso contrario;

c) X_{ij} refere-se ao número de vezes que o item j é cortado na barra i .

Tem-se, então, o seguinte modelo:

$$\begin{aligned} \text{Minimizar } \sum y_i, & & i = 1, \dots, n & (1); \\ \text{Sujeito a } \sum x_{ij} \geq b_j, & & i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m & (2); \\ \sum_j x_{ij} \leq L y_i, & & i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m & (3); \\ Y \in B^n, X \in Z_+^{mn}, & & & (4). \end{aligned}$$

função objetivo (1), mostra a minimização do número de barras. As restrições (2), garantem que cada demanda b_j é atendida e as restrições (3) asseguram que se a barra i é utilizada, logo o comprimento total dos itens é limitado pelo comprimento L da barra e por fim a restrição (4) indica o tipo das variáveis.

De acordo com Poldi e Arenales (2006), padrão de corte refere-se ao modo como um objeto em estoque é cortado para a produção dos itens demandados. Ao colocar itens dentro de objetos, dificilmente são obtidos padrões de corte que ocupem todo o espaço livre dos objetos. Esse processo

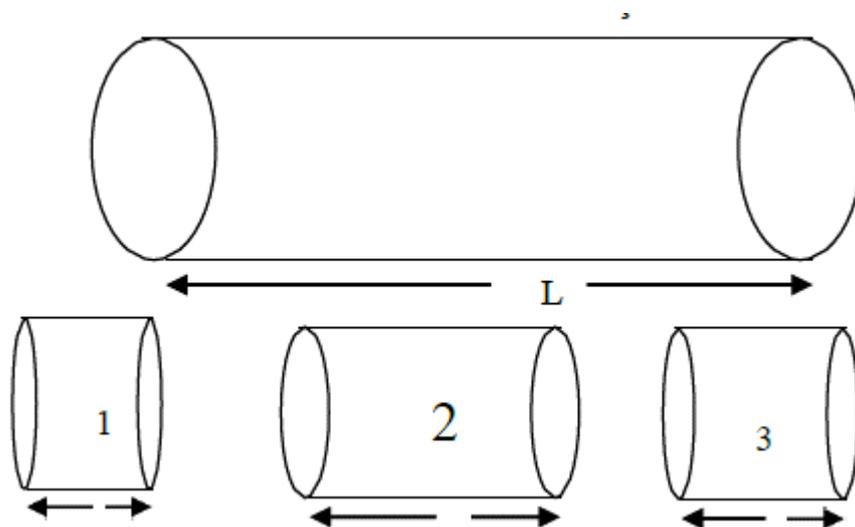
resulta em sobras, que, dependendo de seus tamanhos, podem ser classificadas como perdas ou retalhos.

Retalho é uma sobra, que possui comprimento suficiente para ser reaproveitada depois ao gerar itens. No caso de um retalho, a sobra pode ser organizada em um depósito de objetos disponíveis, sendo reutilizada para suprir uma demanda futura, e desse modo não é considerada como perda do padrão de corte (ABUABARA E MORABITO, 2008).

Segundo Abuabara e Morábito (2008), o planejamento dos padrões de corte, geralmente, é uma tarefa relevante da programação da produção de uma organização, que aplica parte de sua capacidade produtiva para cortar materiais necessários nas etapas restantes da produção. Essa operação possui relação com as demais atividades de planejamento e controle da produção (PCP). Então, uma ferramenta efetiva que atenda esta operação é de grande importância para aprimorar os programas de produção e, com isso, aumentar a competitividade da empresa.

Nas Figuras 3, 4 e 5 são mostrados os exemplos de padrões de cortes, considerando uma peça de tamanho L e itens demandados com tamanhos 1, 2, 3.

FIGURA 2 - PEÇA L

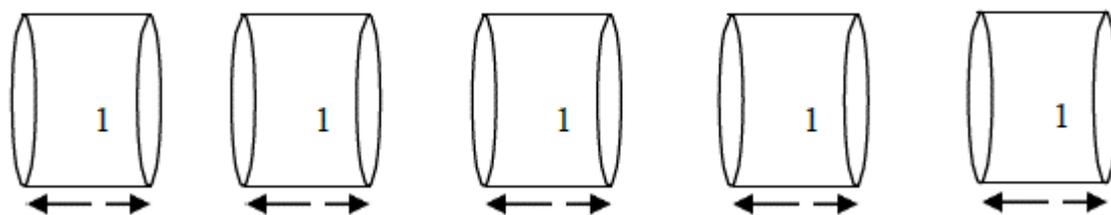


FONTE: O autor (2018).

Alguns padrões de corte possíveis são:

- a) 5 peças de tamanho 1, sem sobras;

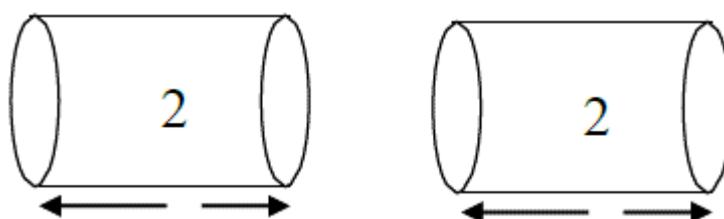
FIGURA 3 - PADRÃO DE CORTE I



FONTE: O autor (2018).

b) 2 peças de tamanho 2, com sobras;

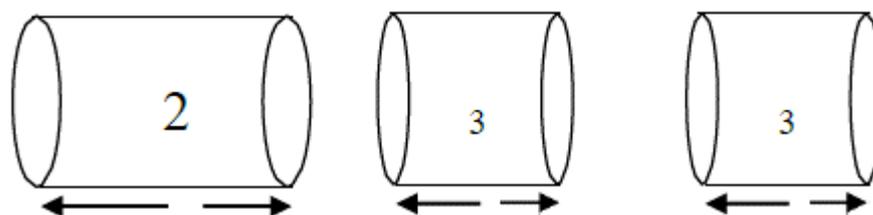
FIGURA 4 - PADRÃO DE CORTE II



FONTE: O autor (2018).

c) 1 peça de tamanho 2, 2 peças de tamanho 3, com sobras.

FIGURA 5 - PADRÃO DE CORTE III

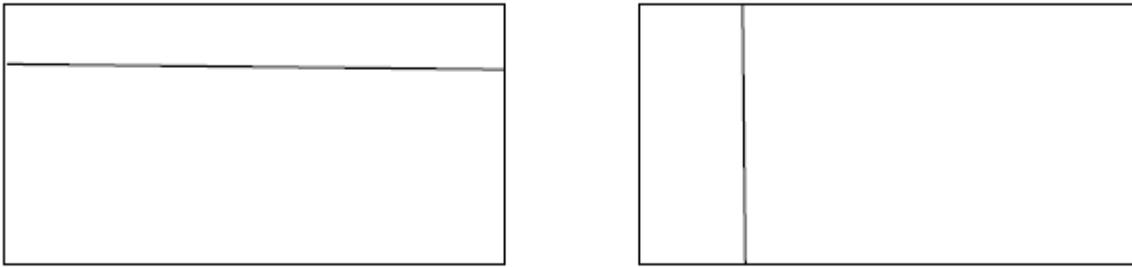


FONTE: O autor (2018).

O problema de corte bidimensional possui duas dimensões relevantes, sendo que há uma placa retangular com um comprimento e uma largura e deve-se realizar o corte em peças menores de modo a otimizar um determinado objetivo (VIANNA E POLDI, 2005).

Os autores ainda indicam que o problema é chamado irrestrito quando não há um limite para o número de peças presentes no padrão, caso contrário, é chamado de restrito. Além disso o corte guilhotinado é aquele em que um retângulo é cortado de modo horizontal ou vertical, gerando dois novos retângulos. Um padrão de corte é do tipo guilhotinado se for obtido por cortes guilhotinados contínuos.

FIGURA 6 - CORTE GUILHOTINADO HORIZONTAL E VERTICAL



FONTE: O autor (2018).

Rangel e Figueiredo (2008) exemplificam o problema ao considerar que há em estoque uma quantidade suficiente de objetos retangulares de comprimento L e largura W , e que deve-se obter m itens menores e retangulares de comprimento l_i ,

largura w_i , e demanda d_i .

Sendo que já são conhecidos todos os padrões de corte viáveis, há um número n total de padrões de corte, e A_j , $j=1\dots n$, um vetor m -dimensional, em que cada elemento a_{ij} indica o número de itens do tipo i no padrão de corte j . Assim Rangel e Figueiredo (2008), com o objetivo de minimizar o custo total, modelam o problema de corte bidimensional da seguinte forma:

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

$$\text{s.a: } \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = d_i \quad i = 1\dots m \quad (2)$$

$$x_j \in \mathbb{Z}^+ \quad j = 1\dots n \quad (3)$$

x_j é uma variável de decisão que mostra o número de objetos cortados de acordo com o padrão de corte j .

Cada padrão de corte possui um custo c_j associado, devido à perda que é gerada. Esse custo pode ser calculado como:

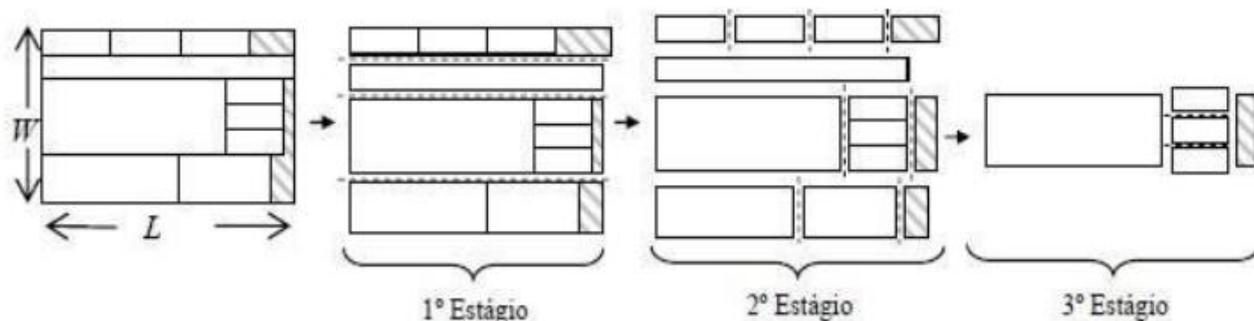
$$C_j = L W - \sum_{i=1}^m (a_{ij} l_i w_i), j=1\dots n$$

Ao assegurar que a demanda seja atendida exatamente (restrições 2), minimizar o número de objetos cortados seria equivalente a diminuir a perda total.

As restrições (3) mostram o tipo das variáveis. Rangel e Figueiredo (2008), ainda destacam que o número de estágios no corte é um fator importante de um padrão de corte. Ao mudar a direção do

corte, ou seja, quando o objeto é rotacionado em 90°, há um novo estágio. Se todos os itens tiverem sido obtidos ao final do último estágio, o padrão de corte é exato, porém se ainda for feito um corte adicional (apara), o padrão é não-exato. Geralmente as aparas são realizadas em outros equipamentos de corte, assim são desconsideradas na contagem do número de estágios. A Figura 7 mostra um padrão de corte guilhotinado exato em três estágios.

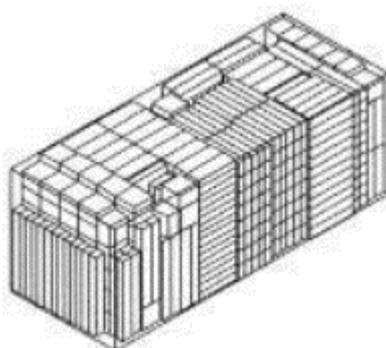
FIGURA 7 - ETAPAS DO CORTE COM UM PADRÃO 3 ESTÁGIOS



FONTE: Rangel e Figueiredo (2008).

O problema de corte ainda pode ser tridimensional, sendo que três dimensões são relevantes. Há uma analogia existente entre o problema de corte tridimensional e o problema de empacotamento: cortar itens de um objeto pode ser visto como empacotar estes itens dentro de um objeto. Como exemplo deste problema temos o corte de blocos de espuma para a produção de colchões e travesseiros ou o empacotamento de produtos em caminhões, paletes, contêineres, vagões ferroviários e navios (ARENALES et al., 2015). A Figura 8 ilustra o corte tridimensional.

FIGURA 8 - CAIXAS EM UM CONTÊINER



FONTE: Cecilio e Morabito (2004).

2.3.1 PROBLEMA DE CORTE DE PEÇAS IRREGULARES

De acordo com Alves e Aymone (2014), a manufatura de roupas no Brasil contribui para a alta empregabilidade de mão de obra, produção e exportação das peças e formação de lucro. O problema de corte de peças irregulares no tecido, antecedente à etapa de confecção dos artigos de vestuário, compõe o processo produtivo dessa indústria.

Segundo Rodrigues et al. (2014), o problema de corte de peças irregulares possui grande relevância econômica para muitos setores industriais, como, o calçadista, moveleiro, metalúrgico e vestuário, porém existem poucas abordagens que tratam o problema de modo exato, em razão de sua dificuldade de resolução.

Com o objetivo de solucionar o problema, heurísticas e meta-heurísticas foram desenvolvidas por diversos autores.

O problema do corte bidimensional com formatos irregulares trata-se de uma lista P de peças com formas irregulares $P = (a_1, \dots, a_n)$, onde a_i representa uma peça. Cada peça possui largura $w(a_i)$ e comprimento $l(a_i)$ e sua posição de encaixe na área retangular é dada por $x(a_i)$ e $y(a_i)$, tal que o ponto de origem, ou o ponto O do plano cartesiano, é representado pelo canto inferior esquerdo. As peças devem ser colocadas em uma região retangular $T(W, L)$ que apresenta largura fixa W e comprimento L , o qual deve ser minimizado. A finalidade do problema é inserir todas as peças referentes à lista P no retângulo $T(W, L)$, considerando-se que deve ser minimizado o comprimento L usado de $T(W, L)$. Uma solução provável deve atender as seguintes restrições: todas as peças devem estar encaixadas dentro do espaço retangular $T(W, L)$ e não deve existir sobreposição entre as peças (ALVES E AYMONE, 2014).

Para exemplificar o problema, Bennel e Oliveira (2008) indicam a Figura 9, referente a um layout de produção de roupas.

FIGURA 9 - ENCAIXE DE MANUFATURA DE ROUPAS



FONTE: Bennel e Oliveira (2008).

Bennel e Oliveira (2008) também afirmam que o problema de corte e empacotamento com formas irregulares, é considerado NP – difícil e como solução, são necessários o uso de heurísticas. Uma outra questão relevante do problema refere-se ao desenvolvimento de ferramentas geométricas para lidar com a grande quantidade e complexidade de formas que precisam ser cortadas ou embaladas

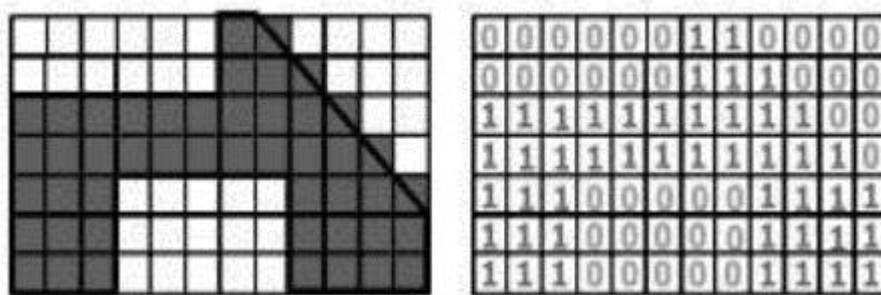
2.3.1.1 REPRESENTAÇÃO DOS ITENS

Métodos Raster são abordagens que dividem o objeto contínuo em várias áreas, logo, reduzindo a informação geométrica com o objetivo de codificar dados por um grid indicado por uma matriz. Diversos autores usam algoritmos para representarem variadas formas (BENNEL E OLIVEIRA, 2008).

Oliveira e Ferreira (1993 apud Bennel e Oliveira, 2008) propõe uma codificação, em que o 1 indica a existência da peça e o 0, o espaço vazio, como é mostrado na figura 9. Para determinada posição do layout, o número da célula inserida na matriz corresponde à quantidade de peças que ocupam essa posição.

Caso o valor seja maior que 1, a sobreposição entre as peças é existente.

FIGURA 10 - REPRESENTAÇÃO 0 – 1



FONTE: Bennel e Oliveira (2008).

Segenreich e Braga (1986 apud Bennel e Oliveira, 2008), também realizam a codificação por matriz, porém com mais números. O número 1 é utilizado para indicar a fronteira da peça e o 3 representa o interior da peça. Ao adicionar duas matrizes ao layout, números maiores ou igual a 4 indicam a sobreposição de peças, portanto, uma situação inviável, e números igual a 2, o contato entre duas peças, algo viável. A Figura 11 ilustra esse panorama.

FIGURA 11 - REPRESENTAÇÃO 0 – 4



FONTE: Bennel e Oliveira (2008).

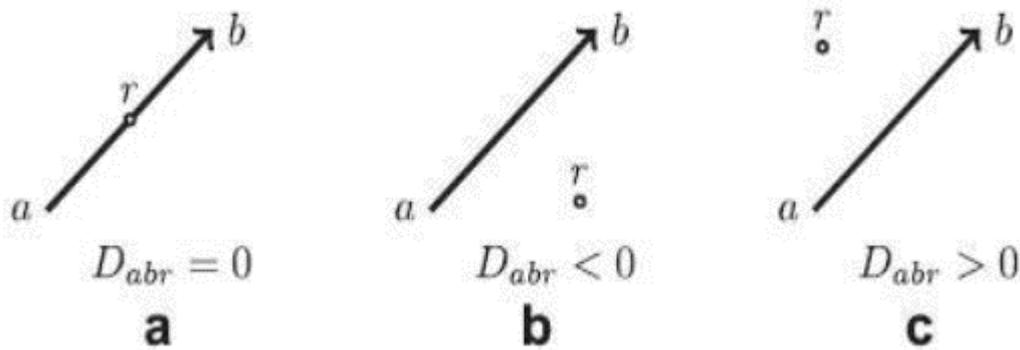
De acordo com Cherri et al. (2016), dado um lado ab , onde $a = (ax, ay)$ e $b = (bx, by)$ e um ponto $r = (rx, ry)$, a função D resulta na posição relativa do ponto em comparação ao lado ab , e é definida pela equação a seguir.

$$D_{abr} = (ax - bx)(ay - ry) - (ay - by)(ax - rx)$$

A Figura 12 mostra os valores que D pode admitir e seus significados. Caso $D_{abr} = 0$ (Figura 12a), o ponto r está sobre a linha ab ; se $D_{abr} < 0$ (Figura 12b), o ponto r encontra-se no lado direito de ab ; se $D_{abr} > 0$ (Figura 12c), o ponto r está na esquerda de ab . Essa relação entre o sinal do valor de D e a posição direita ou esquerda do ponto r é dependente da localização da origem do sistema de

coordenadas. Na maior parte da literatura, é considerado que a origem está localizada no quadrante superior esquerdo, isto é, coordenadas x crescem à direita, e coordenadas y crescem para baixo (CHERRI et al., 2016).

FIGURA 12 - VALORES DE D



FONTE: Cherri et al. (2016).

Cherri et al. (2016), ainda afirmam que a função D possibilita a análise da intersecção de dois polígonos ou duas peças, comparando a posição entre os lados de um polígono e os vértices do outro. Sendo i e j polígonos convexos, e ao considerar K_i como o conjunto de arestas da peça i , e um lado “ e ” pertencente à K_i , a função D pode ser útil para verificar se os vértices da peça j estão à direita de “ e ”.

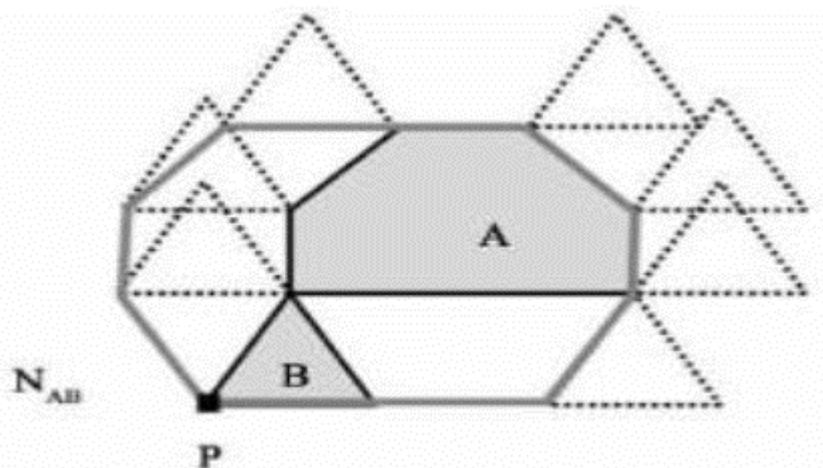
Caso seja verdade para ao menos uma aresta “ e ” pertencente a K_i , a peça i não se sobrepõe em relação a peça j .

Segundo Bennel e Oliveira (2008), o Polígono no-fit (NFP) de dois polígonos A e B , refere-se ao polígono resultante de um deslocamento entre A e B , sendo que cada um possui uma função específica na operação.

O polígono A apresenta uma posição fixa, na qual a origem é definida como $(0,0)$, e o polígono B percorre ao redor do perímetro de A . Ao realizar esse deslocamento, o NFP é determinado ao colocar B em contato com A e simultaneamente, marcando um ponto de referência em B , assim esse deslizamento ocorre de tal forma que A e B sempre estejam em contato, porém sem sobreposição. (BENNEL E OLIVEIRA, 2008).

A Figura 13 exemplifica esse processo.

FIGURA 13 - NOFIT POLYGON



FONTE: Sheen e Seo (2017).

O conjunto NFP_{ab} , representado na figura acima por N_{ab} , é composto por todos os pontos do nofit polygon entre A e B, dado que há sobreposição se o ponto de referência (P) da peça B estiver dentro de NFP_{ab} ; porém caso o ponto de referência esteja sobre a fronteira de NFP_{ab} , as peças estão em contato; ou ainda podem estar separadas caso P não esteja no interior e nem na fronteira (CHERRI et al., 2013).

Segundo Gomes e Oliveira (2002), há uma técnica denominada de retângulo inner-fit, que é derivada do polígono no-fit, e apresenta um conjunto de pontos para posicionar um polígono dentro de um retângulo.

Para a elaboração do retângulo inner-fit, uma peça B, com ponto de referência R_b , desloca ao longo do contorno interno do retângulo A, o que gera um retângulo IFR_{ab} , conforme mostra a Figura 13 (GOMES E OLIVEIRA, 2002).

Ainda de acordo com Gomes e Oliveira (2002), se o ponto de referência (R_b) da peça B está fora do retângulo IFR_{ab} , então B não pertence a A; ou se R_b está na fronteira de IFR_{ab} , B está dentro de A e toca A; e por fim, se B está no interior de IFR_{ab} , logo, B está contido em A e não toca A.

2.3.1.2 MODELOS MATEMÁTICOS

Uma modelagem matemática é fornecida por Imamichi et al. (2009), para o problema de corte de itens irregulares em faixa, conhecido na literatura como strip packing problems. Há uma lista $P = (P_1, \dots, P_n)$ de polígonos, convexos ou não, uma lista $O = O_1 \times \dots \times O_2$ das orientações dos polígonos, dado que O_i

$(1 \leq i \leq n)$ representa um grupo de orientações, nas quais P_i pode ser girado, e um recipiente retangular $C = C(W, L)$, com um comprimento L e uma largura W , em que W é uma constante e L é um valor não negativo.

É definido que um polígono $P_i \in P$ rotacionado em graus $\theta \in O_i$ por $P_i(\theta)$, escrito como P_i , quando a orientação não é especificada e que cada um dos polígonos $P_i(\theta)$ ($i = 1, \dots, n$) possuem pontos dentro do retângulo C , incluindo os pontos da fronteira. Para um polígono S , $\text{int}(S)$ significa o interior de S , ∂S o limite de S , S^c o complemento de S , e $\text{cl}(S)$ o fecho de S . Como $x_i = (x_{i1}, x_{i2})$ ($i = 1, \dots, n$) é o vetor de tradução para P_i , logo o polígono gerado pela translação do polígono P_i por x_i é $P_i \oplus x_i = \{p + x_i \mid p \in P_i\}$ (IMAMICHI et al., 2009). O problema de corte de itens irregulares é descrito a seguir por Imamichi et al. (2009), com o objetivo de minimizar o comprimento de C .

Minimizar L

Sujeito a: $\text{int}(P_i(\theta_i) \oplus x_i) \cap (P_j(\theta_j) \oplus x_j) = \emptyset, 1 \leq i \leq j \leq n,$

$$(P_i(\theta_i) \oplus x_i) \subseteq C(W, L), 1 \leq i \leq n,$$

$$L \in \mathbb{R}_+,$$

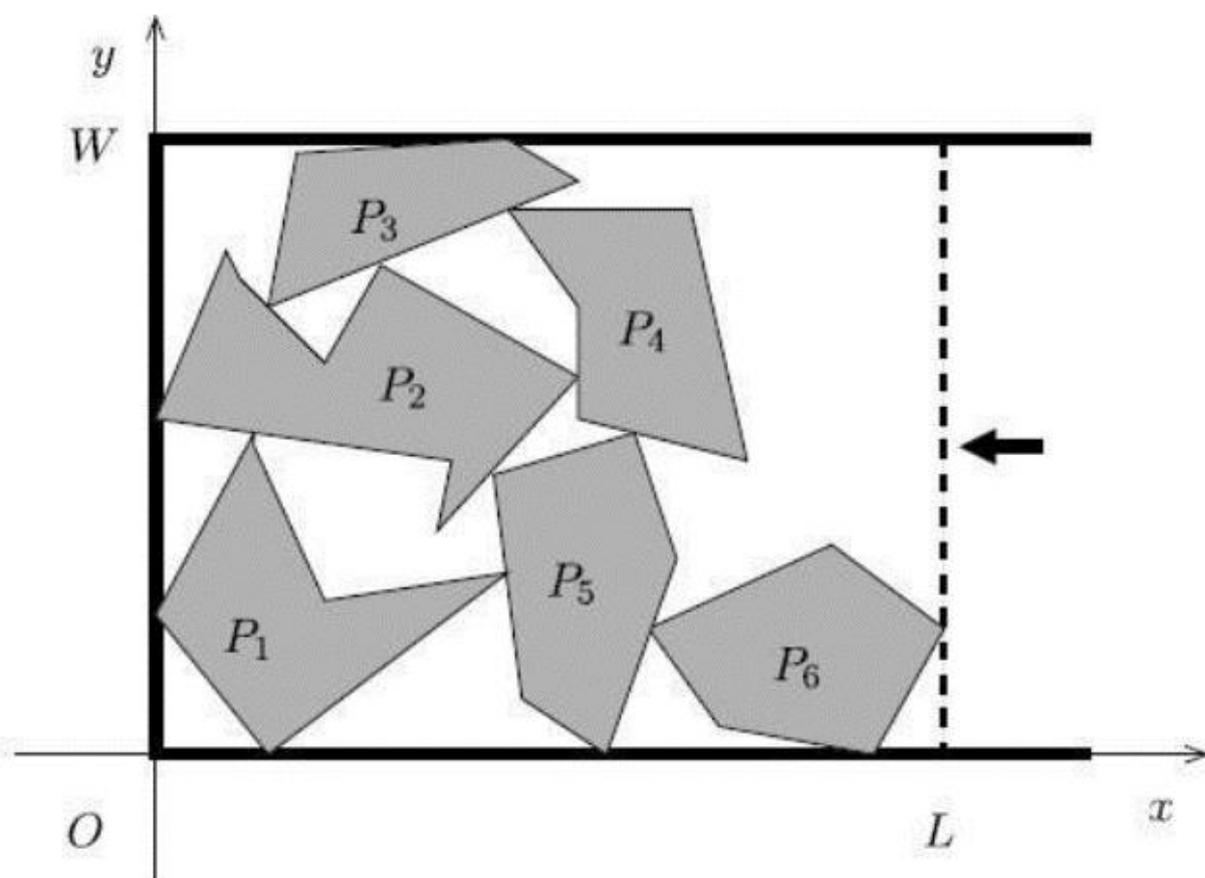
$$\theta_i \in O_i, 1 \leq i \leq n,$$

$$x_i \in \mathbb{R}^2, 1 \leq i \leq n.$$

Imamichi et al. (2009) ainda afirmam que uma solução (x, θ) indica o encaixe dos polígonos e o comprimento mínimo L do objeto C é determinado pela função a seguir:

$$P_i \in P \mid u(x, \theta) = \max \{x_1 \mid (x_1, x_2) \in P_i(\theta_i) \oplus x_i, P_i \in P\} - \min \{x_1 \mid (x_1, x_2) \in P_i(\theta_i) \oplus x_i,$$

FIGURA 14 - ENCAIXE DE 6 POLÍGONOS



FONTE: Imamichi et al. (2009).

Mundim et al. (2015) também apontam um modelo de programação inteira mista para solucionar o problema de corte de itens irregulares. Segundo os autores, a maior dificuldade do problema é relacionada às restrições de não sobreposição entre os objetos menores.

Com o objetivo de impedir a sobreposição entre cada par de itens, são utilizados estudos dos vértices dos polígonos, eliminando a necessidade da utilização de ferramentas geométricas mais complexas, que é o caso do no-fit polygon (MUNDIM et al., 2015).

Para começar a construir o modelo matemático, por meio das restrições de não sobreposição, são definidos os pontos $a_k = (a_k x, a_k y)$ e $b_k = (b_k x, b_k y)$, que correspondem a dois vértices que formam uma aresta k de um item i . Na sequência, as distâncias horizontal e vertical entre o ponto de referência de um item i (x_i, y_i), e o vértice r de um objeto j , são definidas como $gir_j x$ e $gir_j y$, respectivamente (MUNDIM et al., 2015). Assim, os autores atualizam a D-funcion, a qual elimina a sobreposição entre os objetos i e j .

$$Dabg = (a_k x - b_k x) (a_k y - gir_j y) - (a_k y - b_k y) (a_k x - gir_j x) \leq 0.$$

A função ainda sofre algumas alterações por Mundim et al. (2015), ao considerar a substituição da distância ao vértice r do objeto j e o ponto de posicionamento do item i pela distância entre os pontos de referência dos objetos i e j mais a distância do ponto de posicionamento do item j em relação ao vértice r . g_{rj}^x e g_{rj}^y representam, respectivamente, a distância horizontal e vertical do ponto de referência de um item j em relação ao seu vértice r . Além dessas variáveis, também é sugerido que uma constante seja adicionada, com C_{kr}^{ij} representando a expressão $(a^k_x - b^k_x)(a^k_y - g_{rj}^y) - (a^k_y - b^k_y)(a^k_x - g_{rj}^x)$. O modelo completo, nomeado como Modelo de Trigonometria Direta (MTD), é apresentado a seguir.

Minimizar L

$$\begin{aligned} \text{Sujeito a } l^{\min}_i &\leq x_i \leq L - l^{\max}_i, & i = 1, \dots, N, \\ h^{\min}_i &\leq y_i \leq H - h^{\max}_i, & i = 1, \dots, N, \\ C^k_{ij} + (a^k_x - b^k_x)(y_i - y_j) + (a^k_y - b^k_y)(x_i - x_j) &\leq (1 - v^k_{ij})M, \\ & & i, j = 1, \dots, N, i \neq j, k \in K_i, \\ \sum v^k_{ij} + \sum v^k_{ji} &= 1, & i \leq i < j \leq N, k \in K_i, k \in K_j, \\ (x_i, y_i) &\in \mathbb{R}^2, & i = 1, \dots, N, \\ v^k_{ij} &\in [0, 1], & i, j = 1, \dots, N, i \neq j, k \in K_i. \end{aligned}$$

A variável l^{\min}_i indica a distância do ponto de referência em relação ao ponto mais à esquerda do item i , já l^{\max}_i representa a distância mais à direita entre o ponto de referência e o item i ; h^{\min}_i significa a distância do ponto de referência até o ponto mais acima do objeto i , e o h^{\max}_i é até o ponto mais abaixo do objeto. Para auxiliar na definição de qual aresta é usada para garantir a não sobreposição entre os itens, a variável v^k_{ij} é definida, de modo que vale 1 quando se refere a reta que separa os dois itens, e 0 caso contrário; M corresponde a um valor grande capaz de garantir a desigualdade (MUNDIM et al., 2015).

Os problemas de corte têm sido estudados por muitos pesquisadores de diferentes campos do conhecimento. Um fato constatado é que as pesquisas nesse campo se concentram em formar métodos heurísticos pertinentes para a resolução desses problemas, dado que são da classe NP-completos e técnicas exatas, como métodos de enumeração implícita, branch & cut e branch & price, precisam de alto tempo computacional, o que impossibilita a resolução de questões práticas, quando

incluem um número expressivo de itens a serem produzidos (CHERRI, 2006).

Um sistema que vem ganhando força no mercado, de acordo com Lidório (2008), é o Audaces Vestuário que foi desenvolvido para agilizar os processos de modelagem, gradação de moldes, planejamento do risco e encaixe. Tal sistema disponibiliza inúmeros recursos que possibilitam criar a modelagem no computador, graduar os moldes com rapidez, e gerar o encaixe das peças com economia de matéria-prima.

2.4 MÉTODOS HEURÍSTICOS

Os métodos heurísticos são aqueles que buscam soluções viáveis, por meio de avaliações apoiadas nas características do problema ou baseado em parâmetros computacionais, porém sem explorar todas as soluções possíveis. A finalidade deste método é obter boas soluções (não necessariamente a melhor) em um tempo razoável computacionalmente (CARNEIRO, 2010). As heurísticas classificam-se, segundo Muller e Limberger (2000), em heurísticas construtivas e heurísticas de melhoramento.

Na heurística construtiva, é gerada uma solução possível para o problema em cada iteração, já na heurística de melhoramento, a partir de uma solução inicial, a qual pode ser obtida através da heurística construtiva, são alcançados resultados superiores a primeira solução dada (JORGE, 2016).

2.4.1 HEURÍSTICAS PARA O PROBLEMA DE CORTE

Constantino e Junior (2002), afirmam que o problema de corte se trata de um problema de otimização combinatória NP-difícil, portanto, obter uma solução ótima através de algoritmos exatos é extremamente difícil. Como alternativa utilizam-se os algoritmos heurísticos, garantindo uma boa solução com um intervalo de tempo viável.

De acordo com Poldi e Arenales (2006), a heurística construtiva é bem conhecida na literatura e funciona através de repetições exaustivas, seguindo as etapas seguintes:

- a) Construir um bom padrão de corte;
- b) Utilizar o maior número possível de vezes, sem que a demanda seja
- d) excedida;
- c) Atualizar a demanda.

Os três passos devem ser repetidos até que toda a demanda seja atendida. Além da heurística construtiva, Poldi e Arenales (2006), ainda citam a heurística construtiva FFD e a heurística construtiva gulosa.

A heurística FFD trata-se de colocar o maior item em um padrão de corte quantas vezes for possível, isto é, até que sua demanda já tenha sido atendida ou então o item não caiba mais. Na sequência, deve-se colocar o segundo maior item e assim sucessivamente. Quando se chegar no último item, aquele com menor comprimento, um padrão de corte será construído, e a partir deste padrão é necessário executar os passos b) e c) da heurística construtiva.

A heurística construtiva gulosa consiste em solucionar o problema da mochila com uma função objetivo adequada, sendo o valor de utilidade $v_i = l_i$. A cada iteração a heurística gera um padrão de corte e os passos b) e c) são executados na sequência.

O método simplex com geração de colunas é a principal ferramenta para a resolução de problemas de corte unidimensional e bidimensional, e diversas restrições relacionadas às dimensões do objeto e dos itens, ao tipo de equipamento de corte, precisam ser consideradas na geração de padrões de corte (RANGEL E FIGUEIREDO, 2008).

O algoritmo 1, da heurística FFD, é mostrado a seguir.

ALGORITMO 1 – FFD

(continua)

Algoritmo 1: Heurística FFD

- 1 **INÍCIO**
- 2 **P.1.** Ordene os itens em ordem decrescente de tamanho.
- 3 Suponha sem perda de generalidade que: $l_1 \geq l_2 \geq \dots \geq l_m$
- 4 **P.2.** Seja dr_i a demanda residual do item $i \in I$.
- 5 $I = \{1, \dots, m\}$. {conjunto de índices dos itens}
- 6 Inicialmente: $dr_i = d_i, \forall i \in I$.
- 7 Faça $k = 1$ {Primeiro padrão de corte }
- 8 **PARE=**Falso {variável lógica que indica demanda não-nula}

(conclusão)

Algoritmo 1: Heurística FFD

```

9      Enquanto PARE=False)
10     P.3. Faça:  $dem_i = dr_i$ ,  $Sobra = L$  e  $a_{ik} = 0$ ,  $\forall i \in I$ 
11     Seja  $i = 1$  {comece colocando o primeiro item no padrão}
12     Enquanto ( $i \leq m$  e  $Sobra \geq l_i$ ) faça:
13          $a_{ik} = \min \{ [sobra \div l_i], dr_i \}$ 
14         ( $a_{ik}$  é a quantidade de itens tipo  $i$  no padrão  $k$ )
15         Faça:  $Sobra = Sobra - (a_{ik}l_i)$ 
16          $dr_i = dr_i - a_{ik}$ 
17          $i = i + 1$ 
18     Fim do Enquanto
19     P.4. Determine a frequência do padrão  $k$ :
20         
$$x_k = \left\{ \begin{array}{l} \min[dem_i \div a_{ik}], \\ \forall i \in I \text{ tal que } a_{ik} > 0 \end{array} \right\}$$

21     P.5. (Critério de Parada)
22     Se  $dr_i = 0 \forall i \in I$  então
23     PARE=Verdade.
24     Senão Faça  $k = k + 1$  e volte para P.3
25     Fim do Enquanto.
26     FIM

```

FONTE: Cerqueira e Marques (2015).

Segundo Aureliano et al. (2016), existem duas heurísticas capazes de resolver o problema de corte irregular: Bottom-left contínua e Top-bottom-left contínua.

De acordo com Aureliano et al. (2016), na heurística Bottom-left contínua, os itens são arranjados de acordo com suas áreas, de modo decrescente. A tática adotada baseia-se em alocar todos os itens até suprir a demanda e caso não seja possível atender determinado tipo de item, deve-se passar para o próximo tipo. É válido destacar também que ao ser inviável colocar um item no encaixe por falta de espaço, deverá ser utilizado um novo recipiente. O algoritmo tem como entradas os seguintes dados: Itens, que representa a lista com todos os itens; demanda, que corresponde a um vetor com a demanda de cada tipo de item; n , o número de tipos de itens; recipiente, relação dos recipientes que podem

alocar os itens. Já como saída, são indicadas as posições dos itens em cada arranjo, que é a solução do algoritmo. Para cada passo do algoritmo, é realizado a procura do ponto mais à esquerda e abaixo em um recipiente k , com o objetivo de alocar um item i .

São necessárias duas etapas para alocar um item i . Inicialmente, é formada uma listagem de pontos possíveis para arranjar o item i no recipiente k . Para esse fim, primeiro avalia-se o IFP do item i com o recipiente k , e em conjunto é estudado o NFP do item com os defeitos, com as regiões de qualidade ruim em comparativo ao indicador q' de i , e com os itens já encaixados. Na sequência, são coletados todos os pontos de intersecção das arestas do IFP e dos NFPs, e com os pontos prováveis para alocar o item, inicia-se a segunda etapa, que tem como finalidade obter o melhor ponto para alocação. Assim, tem como prioridade os pontos mais à esquerda e abaixo no retângulo, até que um item esteja inserido por completo no recipiente, não sobreponha outro item, e não sobreponha alguma região que seja de qualidade inferior do item (AURELIANO et al., 2016).

Em relação a verificação da qualidade de determinada zona, Aureliano et al. (2016), destacam que deve ser feito um comparativo entre a qualidade q de uma zona específica e a qualidade q' do item. Caso q seja maior ou igual a q' , é aceitável que o item sobreponha essa zona, caso contrário, não. A seguir o Algoritmo 2, Bottom-left continua, é apresentado.

ALGORITMO 2 - BOTTOM-LEFT CONTÍNUA

(continua)

Algoritmo 2: Heurística *Bottom-left* contínua

Entrada: Itens, demanda, n, recipiente
Saída: S

1 **Início**
2 $S \leftarrow \emptyset$;
3 $k \leftarrow 0$;
4 $i \leftarrow 1$;
5 Itens é ordenado, de forma decrescente, pela área de cada item;
6 totalItens recebe o somatório do valor demanda;
7 **enquanto** totalItens > 0 **faça**
8 $k \leftarrow k + 1$;
9 Tome o recipiente_k;
10 **enquanto** i < n **faça**
11 **enquanto** j < demanda_i **faça**
12 $T \leftarrow \emptyset$;
13 Insira no conjunto R as retas que passam pelas arestas do IFP do item i
 com o recipiente_k;
14 **para** cada NFP_{w_i} do item i (orbital) contra w, onde w são os itens já
 alocados, os defeitos, e as zonas de qualidade inferior ao indicador
 de i do recipiente_k **faça**

(conclusão)

Algoritmo 2: Heurística *Bottom-left* contínua

```

15          Insira no conjunto R as retas que passam pelas arestas do NFPwi;
16          fim
17          para cada par u, v de retas que pertence a R faça
18              Calcule o ponto p de intersecção de u e v;
19              se p está no interior do NFPwi em que o indicador de qualidade do
                item i é menor ou igual que a qualidade do NFPwi então
20                  Insira p na lista T;
21              Fim
22              senão se p está na borda ou fora de cada NFPwi e dentro do IFP
                do item i com o recipientek então
23                  Insira p na lista T;
24              Fim
25          fim
26          se L ≠ ∅ então
27              Busque na lista T o ponto candi mais à esquerda e abaixo do
                recipientek;
28              A solução S recebe o item i na posição candi no recipientek;
29              demandai ← demandai - 1;
30              totaltens ← totaltens - 1;
31          fim
32          senão
33              i ← i + 1;
34              Volte para a linha 10;
35          fim
36          j ← j + 1;
37          Fim
38          i ← i + 1;
39          Fim
40          Fim
41          Fim
42          retorna S

```

FONTE: Aureliano et al. (2016).

Outra heurística abordada por Aureliano et al. (2016), é a Top-bottom-left contínua, apoiada na heurística anterior. A diferença das duas heurísticas, segundo os autores, refere-se ao modo de encontrar posições do item no recipiente. O segundo algoritmo também procura, para um item, posições mais à esquerda e abaixo, porém o próximo item é alocado em posições mais à esquerda e acima do recipiente. Abaixo é mostrado o algoritmo Top-bottom-left contínua, com a substituição de

parte do algoritmo 2 (linha 27 até a 30), pelo código a seguir e também a inclusão do comando “inferior $\leftarrow 1$ ” anteriormente a linha 5 do Algoritmo 1.

ALGORITMO 3 - TOP-BOTTOM-LEFT CONTÍNUA

Algoritmo 3: Heurística Top-bottom-left continua

```

1      se inferior = 1 então
2          Busque na lista L o ponto  $cand_i$  mais à esquerda e abaixo do recipiente $_k$ ;
3          A solução S recebe o item i na posição  $cand_i$  no recipiente $_k$ ;
4           $demanda_i \leftarrow demanda_i - 1$ ;
5           $totaltens \leftarrow totaltens - 1$ ;
6      Fim
7      Senão
8          Busque na lista L o ponto  $cand_i$  mais à esquerda e acima do recipiente $_k$ ;
9          A solução S recebe o item i na posição  $cand_i$  no recipiente $_k$ ;
10          $demanda_i \leftarrow demanda_i - 1$ ;
11          $totaltens \leftarrow totaltens - 1$ ;
12     Fim

```

FONTE: Aureliano et al. (2016).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ENQUADRAMENTO DA PESQUISA

Enquadrou-se essa pesquisa como modelagem devido à necessidade de modelar matematicamente o problema de corte bidimensional.

Chwif e Medina (2010), explicam que um modelo é uma abstração, que representa o verdadeiro comportamento do sistema, porém de um modo mais simples que o sistema real. O objetivo fundamental da modelagem é capturar o que de fato é importante no sistema para a finalidade em questão.

Modelos quantitativos representam modelos abstratos em linguagem matemática e computacional, que utilizam técnicas matemáticas e de simulação com a finalidade de calcular valores numéricos das propriedades do sistema em questão, podendo ser útil para a análise de resultados em relação a diferentes ações no sistema (MIGUEL et al., 2012).

3.2 FERRAMENTA DE COLETA DE DADOS

Silva e Menezes (2005) afirmam que quanto à natureza, a pesquisa pode ser classificada como básica ou aplicada, sendo que a última se caracteriza por gerar conhecimentos aplicáveis para solucionar e propor melhorias em problemas práticos. Desta forma, este estudo caracteriza-se por ser uma pesquisa aplicada, pois é necessário conhecer o processo de corte de tecido, quantificar os desperdícios e utilizar métodos heurísticos a fim de propor melhorias para a redução das sobras de tecido, e com isso, reduzir os custos financeiros da empresa.

De acordo com Silva e Menezes (2005), quanto a forma de abordagem, as pesquisas podem ser quantitativas ou qualitativas. A pesquisa qualitativa considera que há uma relação inseparável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito, que não pode ser descrita em números. Já a pesquisa quantitativa determina que tudo pode ser quantificável, isto é, as opiniões e informações podem ser representadas por números, a fim de classificá-las e analisá-las sob algum aspecto.

Este estudo é classificado como pesquisa qualitativa/quantitativa, pois tem por objetivo a redução das sobras de tecido no processo de produção de camisetas gola polo. Foi desenvolvida com base nas observações do processo produtivo, pelo pesquisador e realizadas entrevistas estruturadas com colaboradores envolvidos com o setor de corte.

A entrevista foi composta por questões relativas ao processo de corte, que esclareciam como a indústria planejava essa operação. Para facilitar o entendimento, primeiramente era preciso definir um pedido de camiseta, com os tamanhos solicitados pelo cliente, e suas respectivas demandas. Feito isso, com a informação prévia de que a empresa utilizava o software Audaces para gerar o encaixe das peças, buscou-se coletar as dimensões das peças menores (moldes) referente a cada tamanho, além das dimensões da peça maior (tecido), e o padrão de corte que o programa gerou para esse caso.

Para finalizar a coleta, ainda foi preciso coletar informações referentes a solução do programa, e observar todas as etapas do processo de corte, para obter uma visão abrangente do problema.

3.3 FERRAMENTA ANÁLISE DE DADOS

A partir da coleta de dados, foi utilizado o software SketchCut Lite, para que fosse gerado um plano de corte distinto do caso estudado. O aplicativo tem como opções dois algoritmos para gerar um padrão de corte, nomeados pelo software como “por comprimento” e “por largura”. A partir do estudo das heurísticas, mostrado na Seção 2.4.1 e com a análise dos resultados que o programa fornecia, notou-

se que o mesmo utilizava o algoritmo FFD, com algumas nuances para cada forma de corte denominada pelo aplicativo. As duas formas envolvem formas regulares retangulares, e a partir de algumas simulações, foi escolhido o melhor método para a análise final da pesquisa.

3.4 ETAPAS DA PESQUISA

Primeiramente, de forma a realizar um estudo sobre o problema de corte, foram considerados os principais conceitos da área através de livros, artigos e toda a literatura envolvida. Identificou-se a complexidade do problema e a necessidade de mais análises, em especial, no problema de corte bidimensional com formas irregulares, que pode ser encontrado no processo produtivo do segmento têxtil, onde há uma alta demanda no Brasil.

Após a definição do objetivo geral e dos objetivos específicos, e a realização de um estudo abrangente sobre o problema de corte, com foco no corte no corte bidimensional de formatos irregulares, definiu-se que a análise da pesquisa seria realizada em uma empresa de confecção, localizada na cidade de Jandaia do Sul, norte do Paraná.

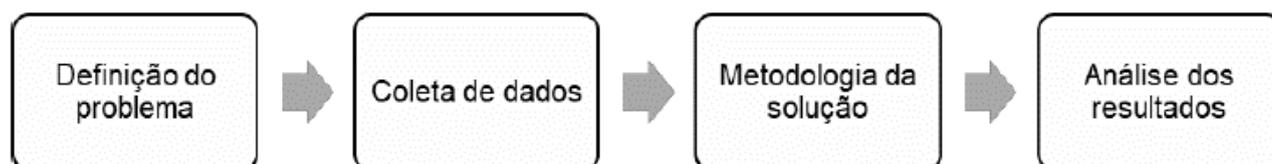
Em seguida, após caracterizar a pesquisa como aplicada e qualitativa/quantitativa, iniciou-se a coleta de dados por meio de entrevistas estruturadas com os gestores da empresa, através de visitas à organização. As entrevistas foram realizadas com perguntas previamente selecionadas que tinham como finalidade, principalmente, conhecer o planejamento de corte da indústria, e coletar informações referentes a um pedido específico de camisetas, para que fosse possível dar continuidade à pesquisa.

A partir do conjunto de dados coletados, e dada a complexidade do problema, utilizou-se o software SketchCut Lite, baseado na heurística FFD, como alternativa para elaborar um novo padrão de corte. Assim como a solução obtida pela empresa analisada, também foi registrada a solução gerada pelo aplicativo, contendo os números que possibilitassem o cálculo do aproveitamento de tecido.

Por fim, houve a análise dos resultados, na qual foi realizado um comparativo entre as duas soluções, de acordo com o aproveitamento de material para cada caso. Também foi considerada a qualidade das duas soluções, uma vez que para obter um novo padrão de corte, foi necessário aproximar os formatos irregulares para formas retangulares, devido à complexidade do problema.

As etapas da pesquisa estão descritas na Figura 15.

FIGURA 15 - ETAPAS DA PESQUISA



FONTE: O autor (2018).

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1 DESCRIÇÃO DO CASO

O problema de corte bidimensional de peças irregulares foi aplicado na CJ Uniformes, a qual é uma indústria de confecção de roupas, localizada em Jandaia do Sul, na região norte do Paraná.

A CJ Uniformes produz todos os tipos de uniformes, como camisas esportivas, uniformes escolares, uniformes universitários, camisetas profissionais, jaquetas, moletons, dentre outros. Também são produzidos, porém em menor escala, brindes como toalhas, bolsas e bonés. Para que ocorra a produção, é necessário anteriormente que exista a necessidade, ou seja, uma outra empresa ou instituição queira alguns dos serviços que a CJ ofereça, é feito o contato e então é realizada a criação e personalização do produto, de acordo com as preferências do cliente.

Durante o segundo semestre de 2018, foram realizadas algumas visitas à empresa com a finalidade de conhecer melhor os seus processos, sendo que o setor de corte era o foco da pesquisa. Por meio de entrevistas com o colaborador que atua no setor de corte, foi selecionado o pedido de uma camiseta polo de um determinado cliente, para que fosse possível estudar o problema e realizar a coleta de dados. A Figura 16 indica a imagem do modelo, com suas especificações, conforme aprovação do cliente.

O Modelo da camiseta polo possui, além das características apresentadas na Figura 16, as seguintes especificações:

- a) Modelo: camiseta gola polo;
- b) Manga: curta;
- c) Material: piquet azul marinho;
- d) Detalhes: azul celeste;

e) Gravação: bordado.

FIGURA 16 - CAMISETA GOLA POLO



FONTE: o autor (2018).

Em conjunto com as especificações da camiseta polo, também foi fornecida a grade de tamanho, que representa uma relação com os tamanhos e o número de peças que serão produzidas, conforme a Tabela 1:

TABELA 1 – DEMANDA

Tamanho	Quantidade
P	12
M	36
G	12
XG	12
Total	72

FONTE: o autor (2018).

A partir desses valores, é determinado o número de enfeustos, referente ao procedimento pelo qual o tecido é estendido em camadas, e a quantidade de camisetas completas de cada tamanho que será colocado no molde ou no risco.

Nesse caso, o enfesto é realizado com movimentos de ida e volta e são necessárias 12 partes de tecido, uma acima da outra, ou então, 6 enfeustos, considerando que uma camada representa duas partes de tecido. Deste modo, a quantidade de camisetas completas em cada encaixe será de 1 P, 3 M, 1 G, e 1 XG, conseqüentemente, atendendo a demanda de 72 peças.

Para que se obtenha um aproveitamento ótimo do tecido, o processo de corte é auxiliado pelo software “Audaces”, no qual primeiramente são cadastrados diversos modelos de camisetas, com seus respectivos moldes. No caso estudado, são configurados no programa quatro moldes: costa, frente, manga com punho e vista, dado que apenas a vista possui o mesmo comprimento e largura para todos os tamanhos. Após o cadastro do modelo, com seus respectivos moldes, é introduzida no programa a quantidade de camisetas completas de cada tamanho, sendo que para formar uma camiseta gola polo são necessários 1 molde frente, 1 molde costas, 2 mangas com punho e 1 vista. Também é inserido no software a largura de 118 cm do tecido e depois é realizado o encaixe automático, que segundo o funcionário que opera o software, são necessários 3 minutos para que se obtenha um aproveitamento bom.

São apresentadas as Tabelas 2, 3, 4 e 5, relativas ao comprimento e largura de cada molde, para cada tamanho pedido pelo cliente, e a Tabela 6, referente à solução apresentada pelo Audaces com o comprimento necessário para alocar todas as peças, e o aproveitamento do tecido correspondente.

TABELA 2 - MOLDE COSTAS

Molde Costas		
Tamanho	Comprimento (cm)	Largura (cm)
P	74.13	53
M	76.13	55
G	78.13	57
XG	84.13	66

FONTE: o autor (2018).

TABELA 3 - MOLDE FRENTE

(conclusão)

Molde Frente		
Tamanho	Comprimento (cm)	Largura (cm)
G	76.74	57
XG	82.74	66

(continua)

Molde Frente		
Tamanho	Comprimento (cm)	Largura (cm)
P	72.74	53
M	74.74	55

FONTE: o autor (2018).

TABELA 4 - MOLDE MANGA COM PUNHO

Molde Manga com Punho		
Tamanho	Comprimento (cm)	Largura (cm)
P	21	45.08
M	21.5	47.08
G	22	49.08
XG	23	53.08

FONTE: o autor (2018).

TABELA 5 - MOLDE VISTA

Molde Vista		
Tamanho	Comprimento (cm)	Largura (cm)
P	22	13
M	22	13
G	22	13
XG	22	13

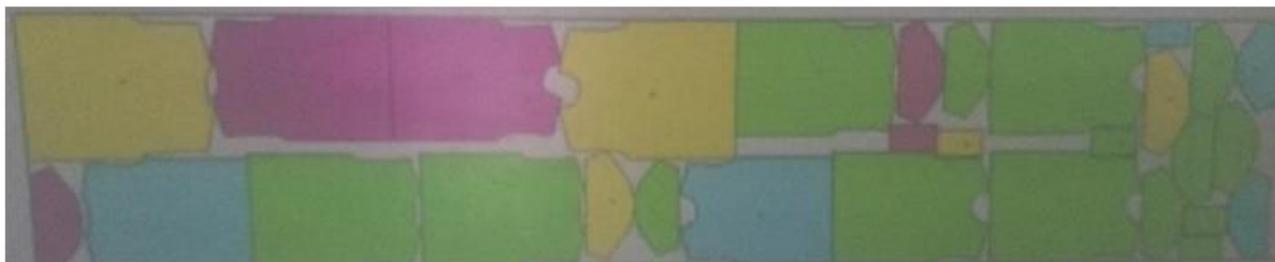
FONTE: o autor (2018).

TABELA 6 – AUDACES

Solução Audaces	
Aproveitamento	87,64%
Perda	12,36%
Encaixados	30/30
Comprimento	579.98 cm
Largura	118 cm
Área	6 m ²
Perímetro	4961.9 cm

FONTE: o autor (2018).

FIGURA 17 - ENCAIXE AUTOMÁTICO



FONTE: o autor (2018).

Na Figura 17, os tamanhos P, M, G e XG estão representados pelas cores azul, verde, rosa, e amarelo, respectivamente.

A CJ uniformes trabalha com estoque mínimo, portanto ainda é necessário realizar o pedido do tecido, que pode demorar 3 ou 4 dias para ser entregue, quando esse tecido já está disponível no fornecedor, ou então 10 dias, caso seja preciso produzir o material. O fornecedor disponibiliza para a indústria quantas peças são feitas por quilo de cada tecido, e em relação ao material da camiseta polo, com um quilo é possível fabricar 4 camisetas, logo, a CJ encomenda 18 kg de rolo de tecido para atender a demanda do cliente. Quanto às dimensões do pedido de tecido, para esse caso, a largura é de 1.18 metros e o comprimento varia de acordo com a demanda.

Após a chegada do pedido, é feito o enfiesto manual em uma mesa de corte com 1.80 m de largura e 11 m de comprimento. São colocadas 6 camadas de tecido, totalizando 12 partes de tecido, e acima delas, é colocado o encaixe automático impresso, para que então seja realizado o corte seguindo o formato de cada molde.

Nesse corte é utilizada a máquina disco, que é mais apropriada para poucos enfiestos, já se for necessário cortar muitos enfiestos, seria utilizada uma máquina mais potente, conhecida como máquina de corte a faca. A sobra de tecido é descartada.

As Figuras 18, 19 e 20 mostram, respectivamente, a máquina disco, a máquina de corte a faca, e os enfiestos com o risco.

FIGURA 18 - MÁQUINA DISCO



FONTE: o autor (2018).

FIGURA 19 - MÁQUINA DE CORTE À FACA



FONTE: o autor (2018).

FIGURA 20 - ENFESTOS COM MOLDE

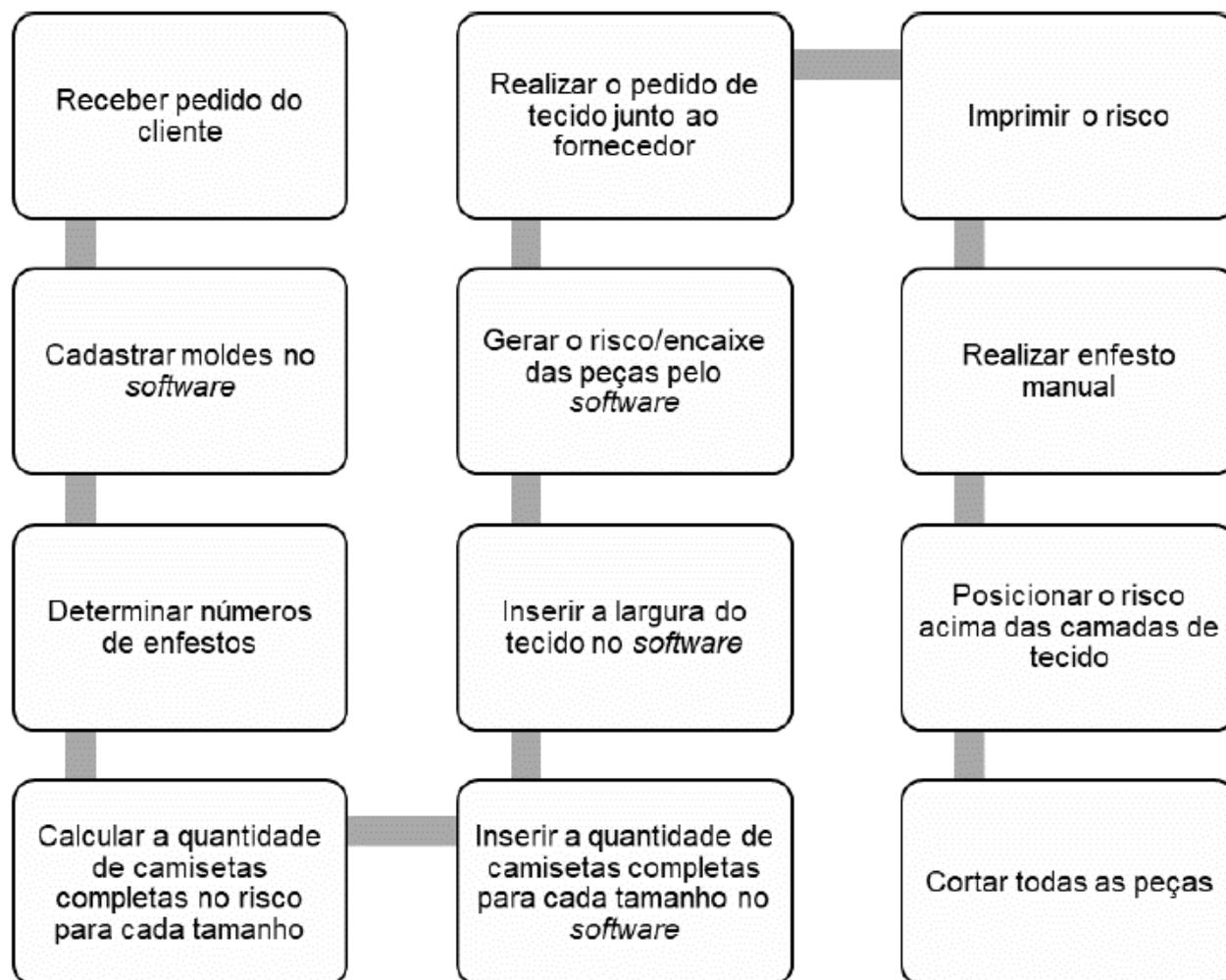


FONTE: o autor (2018).

Por fim, com a obtenção de todas as partes das 72 peças, é feito a costura, estampa, acabamento e embalagem das camisetas. A indústria dá o prazo de 30 dias de entrega para seu cliente, levando em conta o planejamento do corte, o tempo que o fornecedor leva para entregar o tecido específico, e todas as demais etapas do processo produtivo.

Na Figura 21, são organizadas em um fluxograma, as etapas produtivas da camiseta referente ao corte, conforme já descrito.

FIGURA 21 - ETAPAS DO PROCESSO DE CORTE



FONTE: O autor (2018).

4.2 APROXIMAÇÃO POR RETÂNGULOS

Uma opção para a resolução do problema estudado é aproximar os itens irregulares para itens regulares, ou seja, realizar uma aproximação por retângulos.

Para auxiliar nesse processo, foi utilizado o aplicativo SketchCut Lite, que elabora planos de corte para a indústria, a partir de itens retangulares. O software opera por meio de variantes do algoritmo FFD, descrito na seção 2.4.1.

Através do aplicativo, primeiramente são preenchidas as dimensões da placa, seguindo os mesmos parâmetros definidos para a camiseta gola polo na descrição do caso:

- a) Comprimento: 5799 mm;

b) Largura: 1180mm.

Na sequência, são solicitados comprimento e largura dos itens necessários para a produção das 72 camisetas, com as dimensões sempre em milímetros, além da quantidade de cada item. O aplicativo organiza esses dados em um quadro, conforme mostra a Figura 22.

FIGURA 22 – PEÇAS

#	Compr.	Largura	Quant.	Girar	Nome	
1.	741	530	1	Não	Costas P	<input type="checkbox"/>
2.	727	530	1	Não	Frente P	<input type="checkbox"/>
3.	210	450	2	Não	Manga com Punho P	<input type="checkbox"/>
4.	220	130	6	Não	Vista P, M, G e XG	<input type="checkbox"/>
5.	761	550	3	Não	Costas M	<input type="checkbox"/>
6.	747	550	3	Não	Frente M	<input type="checkbox"/>
7.	215	470	6	Não	Manga com Punho M	<input type="checkbox"/>
8.	781	570	1	Não	Costas G	<input type="checkbox"/>
9.	767	570	1	Não	Frente G	<input type="checkbox"/>
10.	220	490	2	Não	Manga com Punho G	<input type="checkbox"/>
11.	841	660	1	Não	Costas XG	<input type="checkbox"/>
12.	827	660	1	Não	Frente XG	<input type="checkbox"/>
13.	230	530	2	Não	Manga com Punho XG	<input type="checkbox"/>

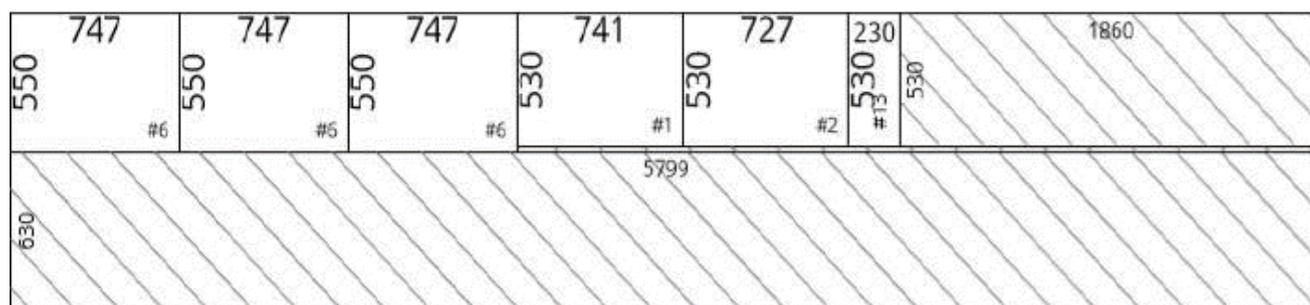
FONTE: o autor (2018).

Após a entrada de dados do item maior e dos itens menores, é possível obter padrões de corte de duas maneiras, por comprimento ou por largura. As duas opções foram consideradas para possibilitar a comparação com a solução do Audaces.

No corte por comprimento, o tecido é dividido em duas partes, em relação à uma linha horizontal gerada pela peça de maior área. Depois da divisão, os itens restantes são alocados ao seguir uma ordem decrescente de área, primeiramente na parte superior à linha horizontal, e por fim, na parte inferior.

Para que o padrão de corte fosse gerado, foram necessárias duas placas, conforme as imagens 23 e 24. A Tabela 7, com os itens de acordo com a área, também foi elaborada.

FIGURA 24 - PLACA 2, PADRÃO 1



FONTE: o autor (2018).

Para o padrão de corte 1, as duas placas resultaram em um aproveitamento de 48.78% e conseqüentemente uma perda de 51.22%. A Tabela 8 mostra os valores que foram utilizados para calcular esses resultados.

TABELA 8 - PADRÃO DE CORTE 1

Padrão 1	
Área das peças (m ²)	6.67
Área das 2 placas (m ²)	13.68
Aproveitamento (%)	48.76
Sobra (%)	51.24

FONTE: o autor (2018).

Assim como o aproveitamento geral de material do padrão de corte 1, é possível fazer essa análise para cada placa. As Tabelas 9 e 10 apresentam os resultados.

TABELA 9 - PLACA 1, PADRÃO 1

Placa 1	
Área das peças (m ²)	4.54
Área da placa 1 (m ²)	6.84
Aproveitamento (%)	66.37
Sobra (%)	33.63

FONTE: o autor (2018).

TABELA 10 - PLACA 2, PADRÃO 1

Placa 2	
Área das peças (m ²)	2.13
Área da placa 2 (m ²)	6.84
Aproveitamento (%)	31.14
Sobra (%)	68.86

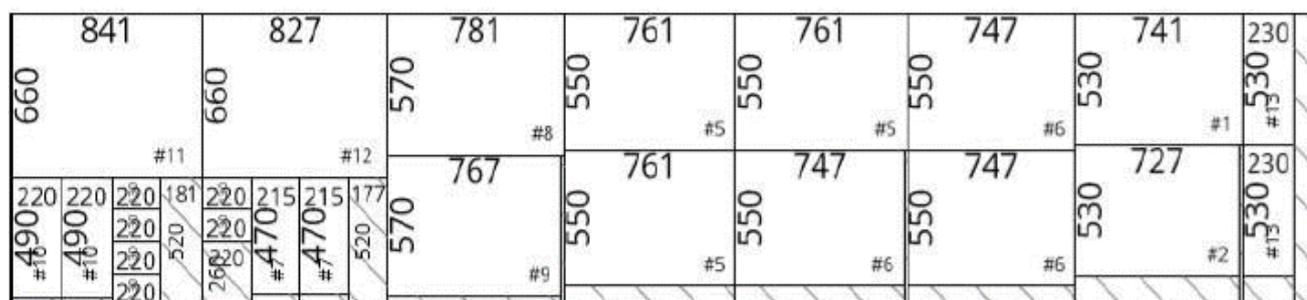
FONTE: o autor (2018).

Vale ressaltar que o percentual de sobra obtido na placa 2 pode ser reaproveitado em outros processos produtivos de camisetas.

Outro modo de gerar um arranjo das peças é através do corte por largura. Nesse corte é colocado o item com maior área no canto superior esquerdo da placa, e abaixo dele são alocados outros itens, também em ordem decrescente de área, até preencher o comprimento do item superior. Quando não é possível colocar o segundo maior item na parte inferior, é colocado o próximo da sequência, conforme a ordem mostrada na Tabela 7. Na sequência, as peças restantes seguem sendo alocadas, de cima para baixo até o término da placa.

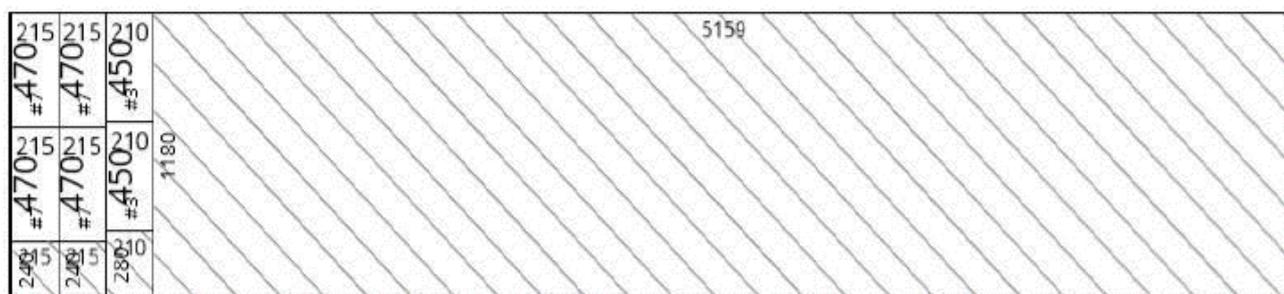
Assim como o padrão de corte 1, 2 placas são necessárias também para realizar o encaixe das peças.

FIGURA 25 - PLACA 1, PADRÃO 2



FONTE: o autor (2018).

FIGURA 26 - PLACA 2, PADRÃO 2



FONTE: o autor (2018).

Como as peças e as placas são iguais, mudando apenas o modo de encaixe dos itens, o aproveitamento do padrão de corte 2 continua com 48,78%. Caso a análise for feita por placa, o corte por largura irá gerar melhor aproveitamento de material em relação a placa 1. São apresentados as Tabelas 11 e 12, referente aos resultados de cada placa do padrão de corte 2.

TABELA 11 - PLACA 1, PADRÃO 2

Placa 1	
Área das peças (m ²)	6.08
Área da placa 1 (m ²)	6.84
Aproveitamento (%)	88.88
Sobra (%)	11.12

FONTE: o autor (2018).

TABELA 12 - PLACA 2, PADRÃO 2

Placa 2	
Área das peças (m ²)	0.59
Área da placa 1 (m ²)	6.84
Aproveitamento (%)	8.62
Sobra (%)	91.38

FONTE: o autor (2018).

Em razão do corte por largura, através do aplicativo, ser um método que aloca mais peças por placa, o que é comprovado pela comparação da placa 1 do padrão de corte 1 com a placa 1 do padrão de

utilizado para a produção das camisetas, ou seja, o Audaces realiza o encaixe a partir de peças irregulares, enquanto a solução da pesquisa foi feita por formas regulares.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Pesquisa Operacional tem um papel fundamental nas organizações, pois possui ferramentas que possibilitam que os gestores tomem decisões mais adequadas e, assim, promovam o crescimento da organização, aumentando sua competitividade em relação ao mercado.

Uma das áreas em que a Pesquisa Operacional atua refere-se ao problema de corte, o qual foi motivo de estudo nesta pesquisa. O problema de corte pode ser encontrado em vários segmentos, dentre os quais, destaca-se o segmento têxtil ou de confecção, que compreende a necessidade de se obter formas bidimensionais e irregulares para a geração do produto final.

O problema de corte é considerado difícil, e obter a melhor solução através de algoritmos exatos demanda muito tempo computacional. A complexidade do problema aumenta ainda mais por se tratar de formas irregulares, e como alternativa, utilizam-se métodos heurísticos para que se obtenha uma solução próxima do ideal, em um tempo considerado viável.

O estudo de caso foi realizado em uma indústria de confecção, que trabalha com diversos tipos de uniformes, além de determinados brindes. Ao selecionar um pedido específico de camisetas, e estudar todo o processo de corte, comprovou-se a importância de realizar um planejamento adequado dessa operação, possibilitando a redução do desperdício de tecido, com um encaixe ótimo de peças.

Com a utilização do SketchCut Lite, por meio da heurística FFD, foi possível obter um plano de corte satisfatório, já que o mesmo corresponde a 89,41% de aproveitamento de tecido. Apesar do bom resultado dessa solução, trata-se de um valor aparente, já que todas as formas irregulares foram aproximadas para retângulos, o que difere da solução coletada para o mesmo caso, de 87,64%, a qual já se encontrava satisfatória e foi obtida sem a necessidade de realizar alguma aproximação.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros, são identificados alguns pontos a serem abordados: resolver o problema de corte bidimensional com peças irregulares sem aproximações, e em conjunto, desenvolver um aplicativo que forneça um padrão de corte ótimo via heurísticas, conforme as necessidades de cada processo produtivo; aplicar o problema de corte em empresas de outros segmentos, como o moveleiro, metalúrgico, calçadista, dentre outros; fazer um levantamento sobre

o desperdício de tecido e viabilizar a reutilização do material para a produção de novas roupas ou outros tipos de produtos.

REFERÊNCIAS

ABUABARA, Alexander; MORABITO, Reinaldo. Modelos de programação inteira mista para o planejamento do corte unidimensional de tubos metálicos na indústria aeronáutica agrícola. *Gestão & Produção*, São Carlos, v. 15, n. 3, p.605-617, dez. 2008.

ALVES, Andressa Schneider; AYMONE, José Luís Farinatti. Algoritmo heurístico para o problema do corte bidimensional de peças irregulares na indústria do vestuário. *Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, Rio de Janeiro, v. 6, n. 3, p.434-450, ago. 2014.

ALVES, Andressa Schneider; AYMONE, José Luís Farinatti; TEIXEIRA, Fábio Gonçalves. Design do Vestuário: metodologia e software de encaixe de modelagens no tecido. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE PESQUISA EM DESIGN, 5., 2009, Bauru. Anais Bauru: Ciped, 2009. p. 1677 - 684.

ANDRADE, Eduardo Leopoldino de. *Introdução à Pesquisa Operacional*. 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2015.

ANDRADE, Eduardo Leopoldino de. *Introdução à Pesquisa Operacional*. 2. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2000.

ANDRADE, Mariana Silva Faleiro de; SOUZA, Sérgio Ricardo de; TEMPONI, Elias Carlos Corrêa. Um algoritmo memético aplicado à solução do problema de corte bidimensional guilhotinado. 2008. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/spolm/sites/www.marinha.mil.br/spolm/files/054_1.pdf

Acesso em: 29 jun. 2018.

ARENALES, Marcos et al. *Pesquisa Operacional: Para cursos de engenharia*. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

AURELIANO, Felipe Augusto; JORGE, Alfredo Rogerio; ANDRETTA, Marina. Métodos heurísticos para o problema de corte de luvas de couro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 48., 2016, Vitória. Anais [Rio de Janeiro]: Sobrapo, 2016. p. 3952 - 3963.

BELFIORE, Patrícia; FÁVERO, Luiz Paulo. *Pesquisa Operacional: Para cursos de engenharia*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

BENNEL, Julia A.; OLIVEIRA, Jose F.. The geometry of nesting problems: A tutorial. *European Journal Of Operational Research*, [s.l.], v. 184, n. 2, p.397-415, 2008.

BRESSAN, Gláucia Maria; BELINELLI, Eduardo Oliveira. Modelagem e solução de problemas de corte e empacotamento por meio da programação linear. *Revista Eletrônica Paulista de Matemática*, Bauru, p.15-28, 8 dez. 2016.

CARNEIRO, Felipe Marcus. Avaliação dos métodos heurísticos para a solução do problema de programação. 2010. 181 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

CARVALHO, João. Programação Linear. Porto: Vida Económica, 2014.

CECILIO, F. O.; MORABITO, R.. Refinamentos na heurística de George e Robinson para o problema do carregamento de caixas dentro de contêineres. Transportes, [s. l.], v. 12, p.32-45, jun. 2004.

CERQUEIRA, Gonçalo Renildo L.; MARQUES, Marlos. Heurísticas para o problema de corte de estoque unidimensional inteiro: novas contribuições. In: CONGRESSO NACIONAL DE MATEMÁTICA APLICADA E COMPUTACIONAL, 35., 2014, Natal. Anais [s. l.]: Sbmac, 2015.

CHERRI, Adriana Cristina. O problema de corte de estoque com reaproveitamento das sobras de material. 2006. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências de Computação e Matemática Computacional, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

CHERRI, Luiz H. et al. Robust mixed-integer linear programming models for the irregular strip packing problem. European Journal Of Operational Research, [s.l.], v. 253, n. 3, p.570-583, set. 2016.

CHERRI, Luiz Henrique; TOLEDO, Franklina Maria Bragion; CARRAVILLA, Maria Antónia. Uma math-heurística para o problema de corte de peças irregulares. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 45., 2013, Natal. Anais... . Rio de Janeiro: Sobrapo, 2013. p. 2171 - 2181.

CHIAVENATO, Idalberto. Introdução à Teoria Geral da Administração. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso. Modelagem e Simulação de Eventos Discretos. 3. ed. São Paulo: Edição do Autor, 2010.

CLÍMACO, João Namorado; HENGGELE, Carlos; ALVES, Maria João Gomes. Programação Linear Multiobjectivo. Coimbra: Imprensa de Coimbra, 2003.

CONSTANTINO, Ademir Aparecido; GOMES JUNIOR, Augusto Mendes. Um algoritmo genético híbrido para o problema de corte industrial bidimensional. Acta Scientiarum: Education, Maringá, v. 24, n. 6, p.1727-1731, 2002.

GOLDBARG, Marco Cesar; LUNA, Henrique Pacca Loureiro; GOLDBARG, Elizabeth Ferreira Gouvêa. Programação Linear e Fluxo em Redes. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

GOMES, A.miguel; OLIVEIRA, José F.. A 2-exchange heuristic for nesting problems. European Journal Of Operational Research, [s.l.], v. 141, n. 2, p.359- 370, set. 2002.

HILLIER, Frederick; LIEBERMAN, Gerald. Introdução à Pesquisa Operacional. 9. ed. São Paulo: Amgh, 2013.

IMAMICHI, Takashi; YAGIURA, Mutsunori; NAGAMOCHI, Hiroshi. An iterated local search algorithm based on nonlinear programming for the irregular strip packing problem. Discrete Optimization, [s.l.], v. 6, n. 4, p.345-361, nov. 2009.

JACOBS, Robert; CHASE, Richard. Administração da Produção e de Operações. São Paulo: Bookman, 2009.

JORGE, Alfredo Rogerio. Resolução de um problema de corte de itens irregulares aplicado à indústria. 2016. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências de Computação e Matemática Computacional, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

LIDÓRIO, Cristiane Ferreira. Tecnologia da Confecção. 2008. Disponível em:

<https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/images/7/73/Apostila_tecnologia_cris.pdf>. Acesso em: 27 nov.2018.

MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick et al. Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações.2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

MORÁBITO, Reinaldo. Modelos de otimização para o problema de corte nas indústrias de papel e papelão e de móveis. Gestão & Produção, São Carlos, v. 1, p.59-76, abr. 1994.

MÜLLER, Felipe Martins; LIMBERGER, Sergio João. Uma heurística de trocas para o problema de sequenciamento de tarefas em processadores uniformes. Pesquisa Operacional, Rio de Janeiro, v. 20, n. 1, p.31-42, jun. 2000.

MUNDIM, Leandro Resende et al. Um modelo inteiro misto com trigonometria direta para o corte de polígonos convexos aplicado à indústria. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 47., 2015, Porto de Galinhas. Anais [Rio de Janeiro]: Sobrapo, 2015. p. 4075 - 4086.

OLIVEIRA, Tainá Caionara de; LIMA, Jandir Ferreira de. A distribuição espacial da indústria têxtil no estado do Paraná. Fae, Curitiba, v. 20, n. 1, p.171-184, 2017.

POLDI, Kelly Cristina; ARENALES, Marcos Nereu. Heurísticas para o problema de corte de estoque unidimensional inteiro. Pesquisa Operacional, Rio de Janeiro, v. 26, n. 3, p.473-492, dez. 2006.

RANGEL, Socorro; FIGUEIREDO, Altamir G. de. O problema de corte de estoque em indústrias de móveis de pequeno e médio portes. Pesquisa Operacional, Rio de Janeiro, v. 28, n. 3, p.451-472, dez. 2008.

RODIGUES, Marcos O.; LEÃO, Aline A. S.; TOLEDO, Franklina M. B.. Modelos matemáticos para o problema de corte de peças irregulares. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 46., 2014, Salvador. Anais [Rio de Janeiro]: Sobrapo, 2014. p. 2662 - 2673.

SHEEN, Dongmok; SEO, Yoonho. Nesting and berth allocation by an expert system using heuristic search. Journal Of Software Engineering And Applications, [s.l.], v. 10, n. 04, p.311-323, 2017.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Esfera Muszkat. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. 2005. Disponível em:

<https://projetos.inf.ufsc.br/arquivos/Metodologia_de_pesquisa_e_elaboracao_de_teses_e_dissertacoes_4ed.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2018.

SILVA, Ermes Medeiros da et al. Pesquisa Operacional. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1998.

TAHA, Hamdy. Pesquisa Operacional. 8. ed. São Paulo: Pearson, 2008.

VIANNA, Andréa Carla Gonçalves; POLDI, Kelly Cristina. O problema de corte de estoque bidimensional aplicado a uma indústria de esquadrias metálicas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 37., 2005, Gramado. Anais Rio de Janeiro: Sobrapo, 2005. p. 1689 - 1699.