



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE

NÚCLEO DE TECNOLOGIA

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DE CORTE COMO
FERRAMENTA PARA OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO
PRODUTIVO. ESTUDO DE CASO EM UMA PEQUENA
EMPRESA DO APL TEXTIL DO AGRESTE
PERNAMBUCANO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO

POR

CHARDSONCLEY JOSÉ CORREIA DA SILVA MELO

Orientador: Prof.

MAISA MENDONÇA SILVA

CARUARU / 2016

CHARDSONCLEY JOSÉ CORREIA DA SILVA MELO

**UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DE CORTE COMO
FERRAMENTA PARA OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO
PRODUTIVO. ESTUDO DE CASO EM UMA PEQUENA
EMPRESA DO APL TEXTIL DO AGRESTE
PERNAMBUCANO**

Proposta de trabalho a ser apresentado ao
Curso de Engenharia de Produção do Centro
Acadêmico do Agreste - CAA, da
Universidade Federal de Pernambuco -
UFPE, como requisito para a disciplina
Projeto Final de Curso.

Área de concentração: Pesquisa Operacional
Orientador: Maisa Mendonça Silva

Caruaru / 2016

Catálogo na fonte:

Bibliotecária – Marcela Porfírio CRB/4 – 1878

M528u Melo, Chardsoncley José Correia da Silva.

Utilização do método de corte como ferramenta para otimização do processo produtivo : estudo de caso em uma pequena empresa do APL Têxtil do agreste pernambucano. / Chardsoncley José Correia da Silva Melo. – 2016.

53f. : il. ; 30 cm.

Orientadora: Maisa Mendonça Silva.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, Engenharia de Produção, 2016.

Inclui Referências.

1. Programação linear. 2. Administração de empresas. 3. Indústria têxtil. II. Silva, Maisa Mendonça (Orientadora). II. Título.

658.5 CDD (23. ed.)

UFPE (CAA 2016-317)

CHARDSONCLEY JOSÉ CORREIA DA SILVA MELO

**UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DE CORTE COMO
FERRAMENTA PARA OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO
PRODUTIVO. ESTUDO DE CASO EM UMA PEQUENA
EMPRESA DO APL TEXTIL DO AGRESTE
PERNAMBUCANO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia de Produção do
Centro Acadêmico do Agreste - CAA, da
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, como
requisito para a disciplina **Projeto Final de Curso**.

Área de concentração: Pesquisa Operacional

A banca examinadora composta pelos professores abaixo, considera o candidato
ALUNO APROVADO COM NOTA_____.

Caruaru, ____ de _____ de _____.

Banca examinadora:

Prof. Maísa Mendonça Silva _____

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Orientador)

Prof. Renata Maciel de Melo _____

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Prof. Thárcylla Rebecca Negreiros Clemente _____

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Prof. Thalles Vitelli Garcez _____

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Coordenador da disciplina)

"Os obstáculos são aquelas coisas terríveis que você vê quando desvia os olhos do seu objetivo"

(Henry Ford)

Agradecimentos

A Deus por toda saúde e força para continuar lutando e vencer esta batalha.

Aos meus pais e irmãos por todo amor, conselho, incentivo e apoio incondicional. Amo muito vocês.

Aos meus avós, tias e primos enfim a toda família (juntos e misturados) por todo carinho, orações e força para que continuaste seguindo os meus objetivos e sonhos.

A minha namorada Priscilla, por toda sua paciência, amor, carinho e por estar sempre comigo nas horas mais difíceis. Obrigado por tudo, você é demais.

A Leticia, pela oportunidade de desenvolvimento deste trabalho.

A todos os meus professores por todo seu empenho, dedicação e conhecimento transmitidos durante todo esse período.

A Prof^a Maisa Mendonça Silva orientadora, professora e amiga muito obrigado pela dedicação durante esses anos de pesquisas e também por me apresentar ao universo da PO.

Aos meus amigos irmãos, alguns a engenharia me deu e outros a engenharia ajudou a fortalecer ainda mais a nossa amizade, não posso deixar de citar o Bruno Ferreira (Brunão) cara, você foi uma das pessoas chaves para que eu conseguisse chegar até aqui, muito obrigado por ajudar-me a levantar nas horas mais difíceis, no fim é como você dizia, “período que vem vai ser melhor”. Danilo Cabral (O Mestre) grande ser humano e engenheiro civil, não é à toa que é o mestre. Obrigado por toda paciência e conhecimento passado. Ao Carlos Roberto (Carlão) amigo e brother de infância, estudo e trabalhos. Obrigado man por tudo.

Um agradecimento muito especial aos membros do clã (Lucas, Jefferson (Jeff), Júlio (Galego), Raphael Andrade (Rafa), Clayton Assis e Wederson) amigos para a vida inteira, todos vocês já fazem parte da minha vida. Não tenho palavras para agradecer a vocês por tudo.

Agradeço a todos que me ajudarão direto ou indiretamente no desenvolvimento deste trabalho. Um MUITO OBRIGADO a todos vocês.

Resumo

A busca por redução de custo e uma produção limpa são objetivos comuns quando tratados por grandes empresas de diversos segmentos. Porém essa cultura acaba fugindo um pouco da realidade das pequenas empresas, em especial no segmento têxtil, foco do presente trabalho, que normalmente não dispõem de altos investimentos em tecnologia e presença de pessoas com conhecimento mais técnicos. O estudo tem por objetivo mostrar o uso de técnicas e conceitos da pesquisa operacional como forma de auxiliar as pequenas empresas a alcançarem esses objetivos. O presente trabalho realizou um estudo de caso em uma empresa produtora de calças masculinas sociais do Agreste Pernambucano, considerando um problema de programação inteira e resolvendo-o por meio do LINGO com apoio do AUTO CAD. Os resultados apresentados demonstram grande importância para a empresa em questão, uma vez que houve redução de desperdício de matéria prima cerca de 56,66% e consequente a redução de custos se comparado ao modelo utilizado atualmente na empresa.

Palavras chave: Programação Linear, Problema do corte bidimensional, Otimização de processos, APL têxtil do agreste, LINGO.

ABSTRACT

The search for cost reduction and lean production methods are seen as common objectives among large companies from several segments. However, this culture ends up escaping somewhat from the reality of small companies, especially in the textile segment, the focus of this work, which usually do not have high investments in technology and the presence of more highly knowledgeable people. This study aims to show the use of concepts and techniques of Operations Research in order to help small industries to reach their objectives. In this case study carried out in a small company that produces men's social pants located in the region agreste of state of Pernambuco, was considered a linear programming problem that was previously solved by the softwares LINGO and AUTO CAD. The results presented have an important meaning for the industry studied, because they represent a reduction of waste of raw materials about 56,66%, which in turn, reflects on cost reduction if compared to the current model used in the company.

Key words: Linear Programming, Two-dimensional cutting problem, Process optimization, LINGO.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivo Geral	13
1.2 Objetivos Específicos	13
2. BASE CONCEITUAL	14
2.1 Característica da indústria têxtil	14
2.1.1 História do setor têxtil no Brasil	14
2.1.2 Contexto atual	15
2.1.3 APL Têxtil do Agreste	18
2.2 A Pesquisa Operacional	20
2.2.1 Programação Linear	22
2.2.2 Programação Linear Inteira	23
2.3 O Problema do Corte e Empacotamento	25
2.3.1 Tipologia dos Problemas de corte e Empacotamento	25
2.3.2 Problema do Corte Bidimensional	30
2.3.2.1 Problema da geração de padrões de corte	31
2.4 Estratégia e método de solução	32
2.4.1 Heurísticas	32
2.4.2 Métodos exatos	33
2.4.3 Métodos emergentes	34
3. METODOLOGIA	35
3.1 Classificação da pesquisa	35
3.2 Desenvolvimento da Pesquisa	36
4. ESTUDO DE CASO	38
4.1 Caracterização da empresa	38

4.2 Definição do problema	39
4.3 Aplicação do Método.....	40
4.4 Comparação entre o Método atual e o Método proposto	45
5. Conclusão	47
Referências Bibliográficas	48
Apêndice	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Países de origem das importações de produtos têxteis – 2012.....	16
Figura 2.2: Produção física Junho 2016.....	17
Figura 2.3: ROL da Indústria têxtil 2013.....	18
Figura 2.4: Ferramentas da Pesquisa Operacional.	21
Figura 2.5: Tipologia dos PCE Wäscher et al. (2006)	29
Figura 2.6: Corte guilhotinado.	30
Figura 2.7: Corte não guilhotinado.	30
Figura 3.1: Fluxograma do Desenvolvimento da Pesquisa.....	37
Figura 4.1: Organograma da empresa X.	39
Figura 4.2: Fluxograma do processo produtivo das calças sociais.	40
Figura 4.3: Sequencias de etapas para elaboração do modelo.	41
Figura 4.4: Modelagem N°36.....	41
Figura 4.6: Modelagem N°42.....	41
Figura 4.5: Modelagem N°38.....	41
Figura 4.7: Tela de resultados do Lingo.....	45
Figura 4.8: Perfis utilizado pelo chefe de corte.....	45
Figura 4.9: Gráfico do Desperdício de matéria prima.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Estrutura Intermediária dos PCE - Minimização da Entrada	28
Tabela 2.2 Tempo para solução do problema do caixeiro viajante.....	31
Tabela 2.3: Aspectos gerais de classificação das metaheurísticas.	35
Tabela 4.1: Dados inseridos no Excel.	42

1. INTRODUÇÃO

A atual situação econômica brasileira, além da forte concorrência estrangeira, em especial a chinesa, são alguns dos fatores que direta ou indiretamente contribuíram para levar o setor têxtil brasileiro a um cenário de queda de produção e de demissões. Consequentemente, muitas empresas deste setor foram obrigadas a reduzir seus custos para continuarem competitivas no mercado. Mais precisamente, muitas dessas empresas foram obrigadas a tomar diversas medidas tais como: redução de funcionários e cortes de investimentos. Em um cenário como esse, empresas que revisam seus processos produtivos, melhorando-os e até mesmo otimizando-os, podem acabar levando vantagem perante as demais.

Diante das adversidades encontradas e de uma demanda crescente a ser atendida, a indústria de vestuário tem que buscar a primazia em sua área, buscando que seu planejamento seja feito de forma a otimizar seu processo produtivo. No entanto, a busca pela otimização de processos não é uma tarefa fácil e vários problemas podem surgir. Pode-se destacar, por exemplo, problemas relacionados com a logística - transporte de produtos, como também problemas referentes à área de produção - sequenciamento de máquinas e, em especial, no interesse deste trabalho, os problemas de corte e empacotamento.

Os problemas de empacotamento, em geral, são aqueles problemas que necessitam que peças menores sejam empacotados em peças maiores. Em algumas de suas aplicações, em vez de empacotar, o objetivo é cortar peças maiores para a obtenção de produtos menores. Essas operações de corte ou de empacotamento são frequentes em diversas indústrias como as de mármore, madeira, vidro, aço, espuma, as de construção civil e confecção.

O problema do corte e empacotamento tem muitas aplicações reais na indústria. Por exemplo: Yanasse (1991) apresentou um algoritmo para o problema do corte e empacotamento na indústria madeireira; Gemmill (1990) formulou um portfólio que consistia na determinação da melhor combinação de tamanhos de chapas para guardar no estoque; Ferreira et al. (1990) apresentou uma heurística apropriada para solucionar problema do corte e empacotamento não linear na indústria de ferro e aço; e Roberts (1984) desenvolveu uma técnica heurística para determinar um cronograma de corte apropriado para bancadas de várias formas e tamanhos para o benefício de um fabricante de móveis. (K.K.LAI and JIMMY W. M. CHAN, 1997, p.116.).

O Problema do Corte (PC), introduzido na literatura por Gilmore e Gomory (1961), consiste basicamente em determinar a melhor maneira de cortar peças maiores denominadas de

objetos, para a obtenção de peças menores denominadas de itens, respeitando as restrições e minimizando as perdas ou maximizando a utilização do objeto. Devido a sua grande importância econômica, os Problemas do Corte veem se tornando cada vez mais relevantes para a Pesquisa Operacional por apresentar facilidades em ser representados através de modelos matemáticos, mas que, devido à sua complexidade, são difíceis de serem solucionados.

Essa dificuldade provém do fato de os problemas de corte serem problemas de otimização combinatória, ou seja, consistem em minimizar ou maximizar uma função com uma grande quantidade de variáveis, atendendo a um conjunto de restrições. Embora esse tipo de problema tenha um domínio finito de soluções viáveis, o simples fato de enumerar essas soluções pode tomar dimensões muito grandes. Dessa forma, os problemas do corte e empacotamento são classificados como problemas *NP-Hard*, ou seja, não há um algoritmo exato que o solucione em tempo polinomial.

O referido trabalho irá expor um estudo de caso em uma pequena fábrica de calças sociais masculinas e aplicar o problema do corte bidimensional como forma de melhorar o seu processo produtivo, gerando assim uma redução de custo e um ganho no impacto ambiental que o descarte dessa perca iria ocasionar.

1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo apresentar um estudo de caso e propor uma maneira de programar o processo de corte de uma fábrica de calças sociais minimizando a perda de tecido e atendendo a uma referida demanda analisando-o o problema com base em um modelo matemático implementado no LINGO tendo o Auto Cad como software de apoio. Além de tentar promover estímulos á futuras pesquisas do referido tema.

1.2 Objetivos Específicos

Detalhar o processo de corte da referida empresa com ajuda de softwares para elaboração de imagens, desenvolvimento de planilhas e implementação de modelos matemáticos. Por fim interpretar os outputs do algoritmo implementado.

2. BASE CONCEITUAL

Neste capítulo serão expostos os principais conceitos e também definições, das quais fundamentam ou relacionam-se com o tema do trabalho.

2.1 Característica da indústria têxtil

O esqueleto da cadeia produtiva de distribuição têxtil e também de confecção engloba a produção das fibras têxteis, o produto acabado e confeccionado, e sua distribuição e também comercialização. Assim, a indústria têxtil constitui uma etapa dessa cadeia, envolvendo a fiação, a tecelagem, a malharia e o beneficiamento (tinturaria, estamparia, lavanderia etc.). Essa indústria é suprida pelas matérias-primas têxteis, compostas de fibras naturais, das quais pode se destacar o algodão, filamentos sintéticos e artificiais. Uma etapa mais à frente constitui as atividades da indústria de confecção, que abrangem a fabricação de vestuário, artigos para o lar, dentre outros.

2.1.1 História do setor têxtil no Brasil

O primeiro documento que comprova a manufatura de tecidos no Brasil é a carta de Pero Vaz de Caminha, onde há referência a “uma mulher moça com um menino ou menina ao colo, atado com um pano não sei de quê aos peitos”, mais adiante também é citado que “as casas tinham dentro muitos esteios e de esteio a esteio uma rede, atada pelos cabos em cada esteio” (COSTA, 2000, MATHIAS, 1988). Segundo Stein (1979, p. 57), nesta época o algodão já era tecido pelos índios antes da chegada dos portugueses. Suzigan (1986) cita o fato de que o desenvolvimento da indústria têxtil de algodão se deu principalmente a partir de fins da década de 1860.

Os principais surtos de investimento nessa indústria ocorreram nos seguintes períodos: entre fins da década de 1860 e meados da de 1870; na década de 1880 e início da de 1890; em 1907- 13; na década de 20 (particularmente em 1924-26); e na década de 30, especialmente a partir de 1933. Com a suspensão das tarifas alfandegárias sobre a importação de maquinários, o estímulo à criação de tecelagem e fiação de algodão veio a todo vapor. No ritmo que isto vinha caminhando, até o final do século XIX a indústria têxtil viria a se desenvolver.

Segundo Costa (2000) e Stein (1979), estima-se que em 1882 haviam no Brasil cerca de 48 fábricas produzindo 20 milhões de metros de tecido anualmente. Este número viria a aumentar nos próximos anos para 134 estabelecimentos espalhados por 17 estados do país. No século XX o Brasil passa de importador para exportador de algodão, em virtude de uma produção maior do que o mercado interno podia consumir. Segundo Mathias (1988), em 1908, apenas em São Paulo foi produzido 60.714.279 metros de tecido e até 1920 o volume de produção têxtil desta cidade a levaria a se tornar o maior polo industrial do Brasil.

Em 1914, as indústrias têxteis tiveram seu crescimento desacelerado por consequência do início da primeira guerra mundial. A guerra comprometeu tanto as importações quanto as exportações, afetando as rotas utilizadas por mercadores no Oceano Atlântico. A indústria conseguiu se sustentar graças a sua demanda interna, que nesse período, não consumia tecidos estrangeiros. Já Segundo Costa (2000, p. 55), em 1945, quando as tropas de Hitler se renderam, as indústrias brasileiras produziam mais de um bilhão de metros de tecidos. Isso se deu por conta do grande aumento no número de exportações devido a segunda guerra mundial.

Em 1990, o Brasil passava pela abertura geral da economia, apresentando efeitos positivos, assim como novos desafios para toda a indústria do país. Era necessário ter como referência não mais o mercado interno, mas o comércio global (TEIXEIRA, 2007). No entanto, em se tratando de tecnologia, o setor ainda se mostrava atrasado devido ao protecionismo vivenciado nos últimos anos, e enquanto as importações de fios e tecidos sintéticos e artificiais subiam, as exportações ainda apresentavam estabilidade, ocasionando conflito entre diversos elos da cadeia. As pequenas e médias empresas pouco modernizadas possuíam poucas chances de sobreviver, a tendência era a predominância de grandes empresas que possuíam meios para investir em tecnologia (KELLER, 2006).

2.1.2 Contexto atual

De acordo com a ABIT (Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção), em 2016 é previsto um crescimento no faturamento de cerca de 5%, o que corresponde a aproximadamente R\$ 127 bilhões, crescimento não tanto expressivo, uma vez que em 2015 houve uma queda de aproximadamente 4%.

Segundo o diretor da ABIT, Fernando Pimentel, em uma matéria publicada pelo jornal Folha de São Paulo, “ Estimamos que cerca de 50 mil toneladas de produtos têxteis eram

trazidas nas malas por ano. A tendência é que essas compras agora sejam feitas no Brasil”. Em relação ao varejo de vestuário, Pimentel prevê uma queda de 4,8% nas vendas de 2016. “As compras por impulso ficam mais retraídas na crise, mas o consumo não acaba totalmente. As vendas de bens que comprometem uma parcela maior da renda sofrem mais durante este período”.

Entretanto, o setor viveu e ainda vive um processo de transformação. Com a liberação comercial, e a consequente globalização do mercado doméstico, o setor sofreu um choque estrutural. Além disso, o Brasil vive uma invasão de produtos importados (Figura 2.1), em especial os asiáticos, que apresentam um percentual de crescimento constante até o momento atual.

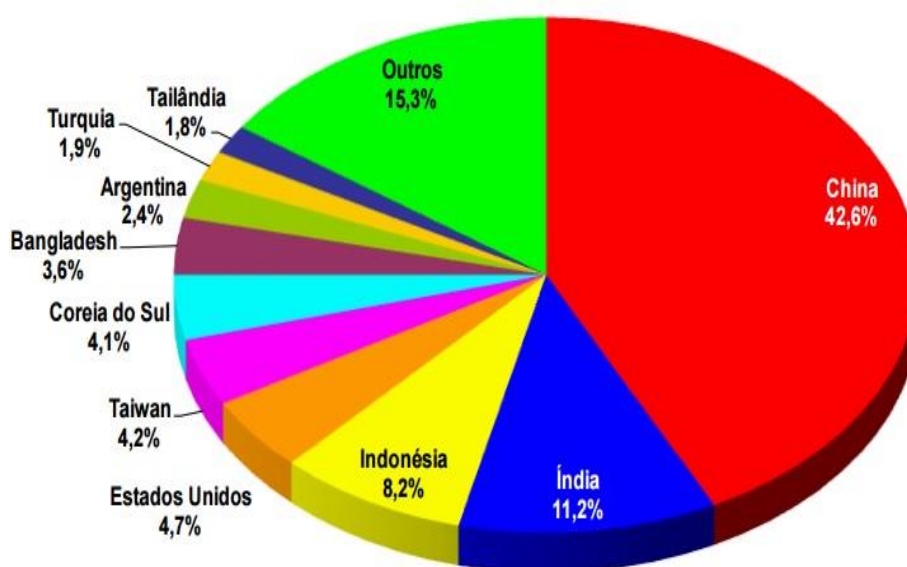


Figura 2.1: Países de origem das importações de produtos têxteis – 2012.

Fonte: DEPEC – Departamento de Pesquisas e Estudos Econômicos (Junho, 2016).

Em 2011, o Brasil apresentava a 8ª posição entre os maiores produtores têxteis e a 7ª posição para a produção de artigos confeccionados. Todavia, sua participação no comércio internacional é pequena, ocupando 26º posição em exportação de têxteis e a 48º em exportação de artigos confeccionados, sendo a China o país que mais exporta tanto produtos têxteis quanto os artigos confeccionados (AMORIM, 2008).

De acordo com pesquisa realizada pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), comparando a produção do mês de junho de 2016 (mês em que foi realizada a pesquisa) com o mesmo mês de 2015 houve uma redução de cerca de 0,8% da produção física. Mesmo sendo pouco expressiva, essa redução impacta diretamente no indicador de desemprego, uma vez que o setor têxtil é responsável por cerca de 3,8 % dos empregos da indústria de transformação.

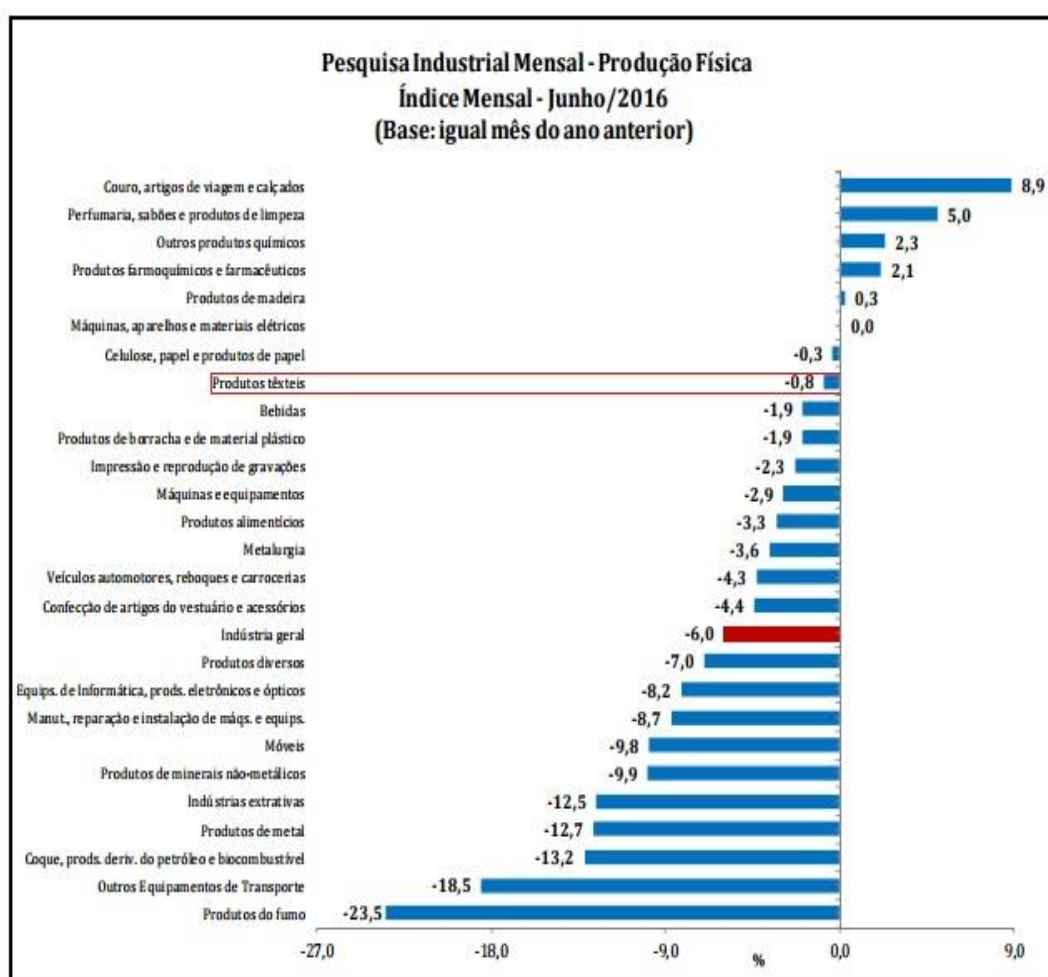


Figura 2.2: Produção física Junho 2016.

Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Indústria (Junho 2016).

A Figura 2.3 apresenta a distribuição da Receita Operacional Líquida (ROL) de vendas, que segundo dados do IBGE, corresponderam a R\$ 40,6 bilhões em 2013. É importante destacar a região Nordeste, com uma participação que corresponde a 15,6% e, dentro desta região, o estado de Pernambuco, que possui participação de 1,33% do ROL desta região.

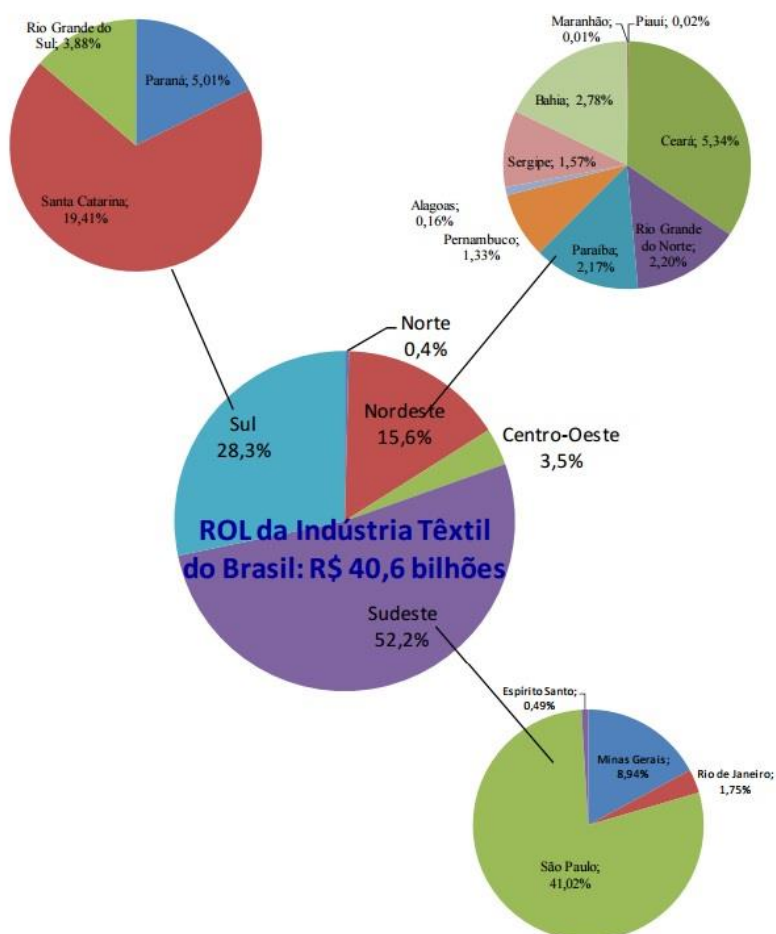


Figura 2.3: ROL da Indústria têxtil 2013.

Fonte: IBGE – Pesquisa Industrial Anual – Empresa.

2.1.3 APL Têxtil do Agreste

Arranjos Produtivos Locais desenvolvem forte atividade comercial pois facilitam o acesso de micro, pequenas e médias empresas a programas de gestão empresarial, mercado, processo, produtos e linhas de financiamento, com o intuito de fortalecer o mercado interno e externo. O Arranjo Produtivo Local (APL) têxtil do Agreste é de grande importância econômica para a região e para o estado de Pernambuco, representando aproximadamente 5% do PIB de

Pernambuco e nos últimos anos vem atingindo um crescimento consolidado sempre acima da inflação e superior aos índices estaduais e nacionais.

Com o desenvolvimento do APL, diferentes atores locais como empresários individuais, sindicatos, associações, entidades de capacitação, de educação, de crédito, de tecnologia e agenciais de desenvolvimento puderam mobilizar-se de forma coordenada para identificar suas demandas coletivas, seja por iniciativa própria ou por indução de entidades envolvidas com o segmento. Consequentemente, essa interação entre as empresas aprimora suas vantagens competitivas, vislumbrando um cenário de estratégias de crescimento e desenvolvimento e não mais de concorrência predatória.

Segundo pesquisa realizada pelo SEBRAE (2012), existem dois tipos de unidades produtivas no APL Têxtil do Agreste, classificadas segundo a forma em que cada uma participa do processo global de produção: empresas ou empreendimentos complementares, também conhecidas como facções. O POLO- 3, que engloba as três cidades mais influentes no APL Têxtil do Agreste Pernambucano, as cidades de Caruaru, Santa Cruz do Capibaribe e Toritama, representa conjuntamente em torno de 77,2% do número de unidades produtivas de confecções do APL Têxtil. Em relação à Caruaru local onde será abordado o estudo de caso, esta representa 24,1% do APL têxtil e 29% das unidades produtivas é composta por empresas, enquanto os outros 71% por empreendimentos complementares ou facções. Santa Cruz do Capibaribe tem uma parcela maior em relação ao APL têxtil, representando 38,1% e, 79,8% das unidades produtivas na cidade é composta por empresas, enquanto 20,2% são facções. Já Toritama tem a menor parcela do APL têxtil do Agreste, totalizando apenas 15%, sendo 34,1% das unidades produtivas da cidade classificadas como empresas e, 65,9% facções.

Segundo a Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Governo de Pernambuco, os maiores desafios encontrados pelo APL têxtil do Agreste são: déficits históricos de infraestrutura em relação a qualidade de vida; água, meio ambiente e segurança para compradores; baixa escolaridade e baixa qualificação (técnica e gestão, produtividade, inovação, aproveitamento de novos mercados); cultura pouco cooperativa; baixo nível de cooperação para iniciativas; e alto índice de informalidade.

O fato que chama a atenção é que se for considerado todo o APL têxtil do Agreste, com mais sete cidades além de Caruaru, Santa Cruz do Capibaribe e Toritama, identificamos que a indústria de confecções possui aproximadamente 18.803 unidades produtivas (Dados de 2012).

Outro dado interessante a respeito do APL têxtil do Agreste é que cerca de 80% das unidades produtivas são informais, ou seja, não trabalham de acordo com a regulamentação e as normas impostas pelo governo e mercado, afim de garantir melhor qualidade do produto ou serviço. O grande problema é que o não cumprimento das normas, sendo elas trabalhistas, governamentais, ou até mesmo normas impostas pelo mercado, é prejudicial para todo o arranjo produtivo local, comprometendo sua competitividade e até mesmo o desenvolvimento econômico local e, consequentemente o da região e do estado-

2.2 A Pesquisa Operacional

Segundo Hillier e Lieberman (2006), a origem da Pesquisa Operacional (PO) pode ser remontada muitas décadas atrás quando foram feitas tentativas iniciais para o emprego de uma abordagem científica na gestão das organizações. Entretanto o início da assim denominada PO, geralmente é atribuído às atividades militares da segunda Guerra Mundial, em que havia necessidade de se alocar de forma eficiente os escassos recursos para as diversas operações militares. Goldbarg e Luna (2000) complementam esta ideia, afirmando que o principal objetivo na tomada de decisão empresarial é a maximização da utilidade do decisor, o que na prática, é traduzida pela maximização do lucro ou pela minimização do custo.

Jorge et al. (2012) pontuam que a PO é uma ciência aplicada que utiliza técnicas científicas conhecidas (ou as desenvolve quando necessário), tendo como ponto de referência a aplicação do método científico. Ainda, segundo este autor, a PO tem a ver, portanto, com a pesquisa científica criativa em aspectos fundamentais das operações de uma organização. Pelo que foi dito antes, podem-se resumir os principais aspectos da PO como segue:

- Possui um amplo espectro de utilização, no governo e suas agências, indústrias e empresas comerciais e de serviço;
- É aplicada a problemas associados à condução e a coordenação de operações ou atividades numa organização;
- Adota um enfoque sistêmico para os problemas;
- Busca a solução “ótima” para o problema;
- Usa uma metodologia de trabalho em equipe (engenharia, computação, economia, estatística, administração, matemática, ciências comportamentais).

Problemas de otimização em PO são geralmente modelados na forma de uma função objetivo (por exemplo, minimizar a perda de matéria prima) e diversas restrições associadas ao problema modelado, por exemplo: disponibilidade de matérias-primas, mão-de-obra, etc.

Segundo Hillier e Lieberman (2006), o processo de aplicação da PO se inicia na observação e formulação do problema, incluindo a coleta de dados relevantes da situação em estudo. Em seguida o modelo científico (normalmente matemático) é construído, tentando abstrair a essência do problema real. Posteriormente, são realizadas experimentações adequadas para testar a hipótese e modificá-la caso necessário.

Segundo Morabito et al. (2015), alguns autores sugerem que pesquisa operacional é tanto “ciência” quanto ‘arte’: ciência porque é subordinada ao método científico de investigação (objetivo), arte porque o sucesso de todas as fases que precedem e sucedem ao método científico depende muito da criatividade e experiência do pessoal de PO (subjetivo). Atualmente a PO conta com diversas ferramentas para o auxílio na tomada de decisão. A Figura 2.4 mostra os mais comuns em estudos científicos.

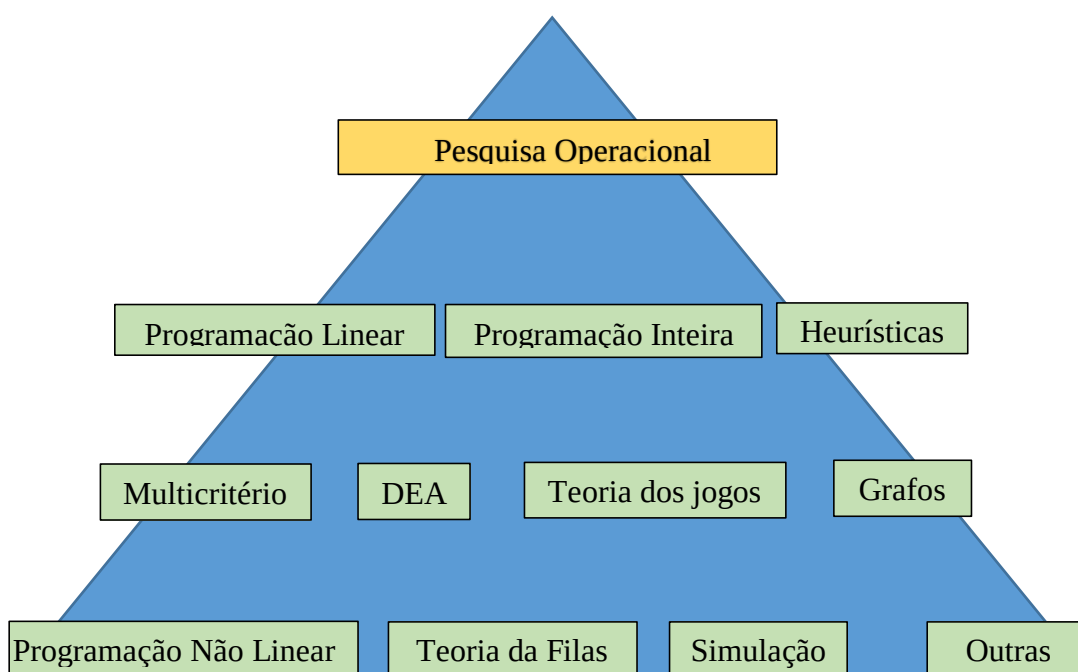


Figura 2.4: Ferramentas da Pesquisa Operacional.

Fonte: Autor (2016).

2.2.1 Programação Linear

A programação Linear (PL) é uma área de conhecimento muito utilizada em setores industriais, militares, governamentais, entre outros, como uma importante ferramenta de planejamento para a utilização dos recursos disponíveis com a maior eficiência possível. A sua importância é devido à capacidade de modelar e resolver problemas grandes e complexos em tempo razoável (polinomial). Seus benefícios são exatamente aqueles procurados pelas empresas: diminuição dos custos e aumento dos lucros (Teodoro 2003).

A origem da PL ocorreu durante a segunda guerra mundial como forma de auxiliar a força militar americana a resolver problemas estratégicos e táticos que não eram até então estudados pelos os mesmos. Como os resultados obtidos foram significativos, a PL continuou sendo usada mesmo depois do fim da guerra, redirecionando seus objetivos para abranger também problemas de cunho não militar.

Teodoro (2003) afirma que ao se formular um problema sob a forma de um modelo matemático, o objetivo é o de ajudar no processo de decidir quais alternativas e quanto de cada uma devem ser escolhidas, a fim de satisfazer um objetivo, normalmente maximizar (minimizar) uma função das atividades, perante atividades (variáveis de decisão) que competem entre si pela utilização de recursos escassos (restrições).

Um problema genérico de PL pode ser representado pelo seguinte sistema de inequações lineares:

$$\text{Min (max)} z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \quad (2.1)$$

$$\text{sujeito a: } \begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \geq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2 \\ \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad + \dots + \quad \vdots \quad \quad \vdots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n = b_m \end{cases} \quad (2.2)$$

A interpretação para o modelo acima é a seguinte: Encontre uma solução de modo que minimize ou (maximize) a função objetivo (2.1), respeitando o conjunto de restrições (2.2).

Para poder resolver um problema utilizando PL, faz-se necessário que todas as restrições e a função objetivo sejam lineares. O conjunto de soluções que satisfazem todas as restrições é chamado de conjunto de soluções viáveis, ou seja, é o conjunto que contém todas as soluções

possíveis. Uma solução ótima é aquela solução do conjunto de soluções viáveis que faz com que a função objetivo retorne o mínimo (máximo) valor possível, respeitando todas as restrições. O valor obtido é então chamado valor ótimo.

Na literatura é possível encontrar vários métodos para resolver problemas de PL, sendo, o mais conhecido deles o método Simplex e que apesar de ter complexidade de tempo exponencial no seu pior caso, normalmente tem complexidade de tempo polinomial.

Os programas utilizados para dar solução ao problema de programação linear (PPL) podem ser vistos, em uma visão macro, como a fusão de dois softwares distintos, mas complementares nas suas funções. A seguir são apresentadas as características principais destes programas (LACERDA e VASCONCELLOS, 1996):

- No primeiro, a interface tem a função básica de gerar a matriz que representa o PPL a partir de um formato que dependerá da implementação, podendo ser uma linguagem de modelagem algébrica, planilha eletrônica, etc. As interfaces possuem instrumentos para preparação de dados, análises de resultados, alteração e preparação de modelos;
- O segundo recebe a matriz de dados que representa o PPL com suas restrições e função objetivo, aplica métodos de otimização (Simplex, Dual Simplex, Simplex Revisado, etc.), e retorna os valores ótimos das variáveis.

Comumente os programas mais utilizados na literatura são, o Solver (programa com interface baseada em planilhas eletrônicas) e o LINGO (programa baseado em modelagem algébrica).

2.2.2 Programação Linear Inteira

Segundo Thara (1975), foi no final da década de 40 e início da década de 50 que a programação inteira (PI) se iniciou com aplicações em pesquisas operacionais com um caráter puramente matemático. No entanto, apenas no fim da década de 1950 que, Gomory (1958) desenvolveu a primeira técnica de resolução para programação inteira finita. Deste então, outros algoritmos têm sido desenvolvidos e melhorados para resolução desta classe de problemas.

De acordo com Florentino (2005), é possível encontrar diversos métodos para a resolução de problemas de programação linear inteira (PLI), tais como: algoritmo de Gomory, algoritmo

Branch-and-Bound, Geração de Colunas, Métodos de Pontos Interiores, entre outros. Em uma visão mais ampla, estes métodos estão dentro de uma das três classificações:

- Métodos de Planos de Corte;
- Métodos Enumerativos;
- Algoritmos Iterativos e Heurísticos (aproximativos).

Ainda, segundo Lachtermacher (2004), problemas de programação linear inteira (PLI) são problemas de programação matemática em que uma ou mais variáveis de decisão devem assumir valores inteiros. Esses problemas podem apresentar dois tipos básicos:

- Programação Linear Inteira Mista;
- Programação Linear Inteira Binária.

O problema a ser tratado neste trabalho de conclusão de curso é de Programação Linear Inteira Mista. Sabe-se que a depender do porte do problema, métodos de resolução de PLI podem apresentar tempo computacional muito longo, como mostrado nos tópicos anteriores, o que é indesejável. Para tentar reduzir os problemas de esforço computacional, muitas vezes são usadas estratégias na formulação do modelo ou nos algoritmos de resolução do problema que melhoram o desempenho computacional. Foram dessas formulações que surgiram os algoritmos híbridos e as relaxações, como por exemplo, o método de *Branch and-Cut*, a Relaxação Lagrangeana, dentre outros.

Muitos problemas podem ser resolvidos com o auxílio da PI. Autores como Florantino (1990); Guerreiro, Magalhães e Ramalheite (1985) e Rangel (1998). Aplicaram a PLI a diversos problemas como a parte de programação da produção, dimensionamento de lotes, sequenciamento de itens, sequenciamento de tarefas, corte de estoques.

Outro fato importante é que segundo Teodoro (2003), o PLI é computacionalmente muito mais complexo do que o PPL pois dependendo do número de variáveis existentes, a solução ótima, com todas as variáveis inteiras, só pode ser obtida com algoritmos de complexidade de tempo exponencial característica dos problemas NP-Difícil, conforme abordado no item 2.3.2.

2.3 O Problema do Corte e Empacotamento

Como já dito anteriormente, o Problema do Corte (PC) se refere ao problema de cortar itens de algum tipo de material – por exemplo, papel, vidro, tecido – de forma a otimizar algum objetivo e satisfazendo um conjunto de restrições. Já o problema do empacotamento se refere ao problema de definir configurações ótimas de posicionamento de itens dentro de recipientes maiores.

Segundo Wäscher et al. (2006), os Problemas de Corte e Empacotamento (PCE) podem ser divididos em cinco subproblemas:

- Problema da seleção de objetos: quando determinados objetos possuem características como dimensões, custo ou material diferentes;
- Problema de agrupamento de itens: quando um determinado conjunto de itens não podem ficar juntos um do outro, por exemplo, produtos químicos juntos com produtos alimentícios;
- Problema de alocação de itens em objetos: quando determinados itens podem ser alocados somente em determinados objetos;
- Problema de seleção de itens: quando determinados itens possuem utilidades diferentes, tendo prioridade em relação aos outros;
- Problema de *layout*: quando os itens devem ser dispostos nos objetos, respeitando-se as condições geométricas.

2.3.1 Tipologia dos Problemas de corte e Empacotamento

Dyckhoff (1990) introduziu uma tipologia dos PCE e propõe quatro critérios para classificação:

1. Dimensionalidade:

- 1) Uma dimensão;
- 2) Duas dimensões;
- 3) Três dimensões;
- N) n dimensões.

2. Tipo de Atribuição:

B) todos os objetos são utilizados para alocar uma parte dos itens;

V) todos os itens são alocados utilizando apenas uma parte dos objetos.

3. Tipo de Objetos:

O) um único objeto;

I) objetos idênticos;

D) objetos diferentes.

4. Tipos de Itens:

F) poucos itens de formas diferentes;

M) muitos itens muito heterogêneos;

R) muitos itens pouco heterogêneos;

C) itens iguais.

Cada tipo de problema de corte é definido como sendo uma quádrupla 1/2/3/4, na qual 1 é a dimensionalidade; 2 é o tipo de alocação; 3 é o tipo de objeto; e 4 é o tipo de item. Por exemplo, um problema de corte cujo objetivo seja determinar a melhor maneira de cortar barras idênticas de 12 metros de comprimento para produzir barras menores de 3, 5 e 7 metros, é classificado, pela quádrupla 1/V/I/F.

No entanto, com o crescente número de publicações nos últimos tempos, a tipologia proposta por Dyckhoff (1990) acabou se tornando ineficiente e motivou novas tipologias para os PCE. Wäscher et al. (2006), por exemplo, propôs nova tipologia, baseada nas ideias de Dyckhoff. Esta tipologia engloba cinco critérios:

1. Dimensionalidade: Os problemas são divididos, segundo este critério, em unidimensional, bidimensional e tridimensional.
2. Tipo de Atribuição: De acordo com este critério os problemas podem ter o objetivo de:
 - Maximizar a saída: neste caso, todos os objetos disponíveis não são suficientes para alocar todos os itens. Assim faz-se necessário maximizar a utilização dos objetos.

- Minimizar a entrada: nesta situação, os objetos disponíveis são suficientes para alocar todos os itens. Assim, é necessário alocá-los buscando minimizar algo, o que pode ser custo ou a quantidade de material desperdiçado.

3. Tipo dos Itens

- Idênticos;
- Pouco heterogêneo;
- Muito heterogêneos.

4. Tipo de objetos

- Um único objeto:
 - Com todas as dimensões fixas;
 - Com uma ou mais dimensões variáveis.
- Muitos objetos:
 - Idênticos;
 - Poucos heterogêneos;
 - Muito heterogêneos.

5. Forma dos Itens:

- Regulares;
- Irregulares.

Tabela 2.1 Estrutura Intermediária dos PCE - Minimização da Entrada

Tipo de Objetos \ Tipo de Ítems		Pouco Heterogêneo	Muito Heterogêneo
Todas Dimensões Fixas	Idênticos	<i>Single Stock Size Cutting Stock Problem (SSSCSP)</i>	<i>Single Bin Size Bin Stock Problem (SBSBSP)</i>
	Pouco Heterogêneo	<i>Mutiple Stock Size Cutting Stock Problem (MSSCSP)</i>	<i>Mutiple Bin Size Bin Stock Problem (MBSBSP)</i>
	Muito Heterogêneo	<i>Residual Cutting Stock Problem (MSSCSP)</i>	<i>Residual Bin Stock Problem (MBSBSP)</i>
Um único objeto com uma dimensão variável		<i>Open Dimensional Problem ODP</i>	

Fonte: Temponi, 2007, p. 8.

O resultado final da estrutura proposta por Wäscher et al. (2006) é obtido através da seguinte regra:

{1,2,3} -D {retangular, circular, ..., irregular} {classificação intermediária}.

Por exemplo, um problema cujo a nomenclatura é “2D retangular *Single Stock Size Cutting Stock Problem*” ou apenas “problema do corte bidimensional” é um problema cujo o objeto e os itens são retangulares, com todas as suas dimensões fixas e seus itens são poucos heterogêneos. Na tabela 2.1 é possível observar a estrutura intermediaria proposta por Wäscher dando mais ênfase aos tipos de problemas encontrados no âmbito do tipo de problema do qual o presente trabalho abordará (Minimização de entradas). Este tipo de problema será bem mais detalhado no item 2.3.2 porem, na figura 2.5 é possível ver de forma resumida como é estruturado o problema do corte e empacotamento.

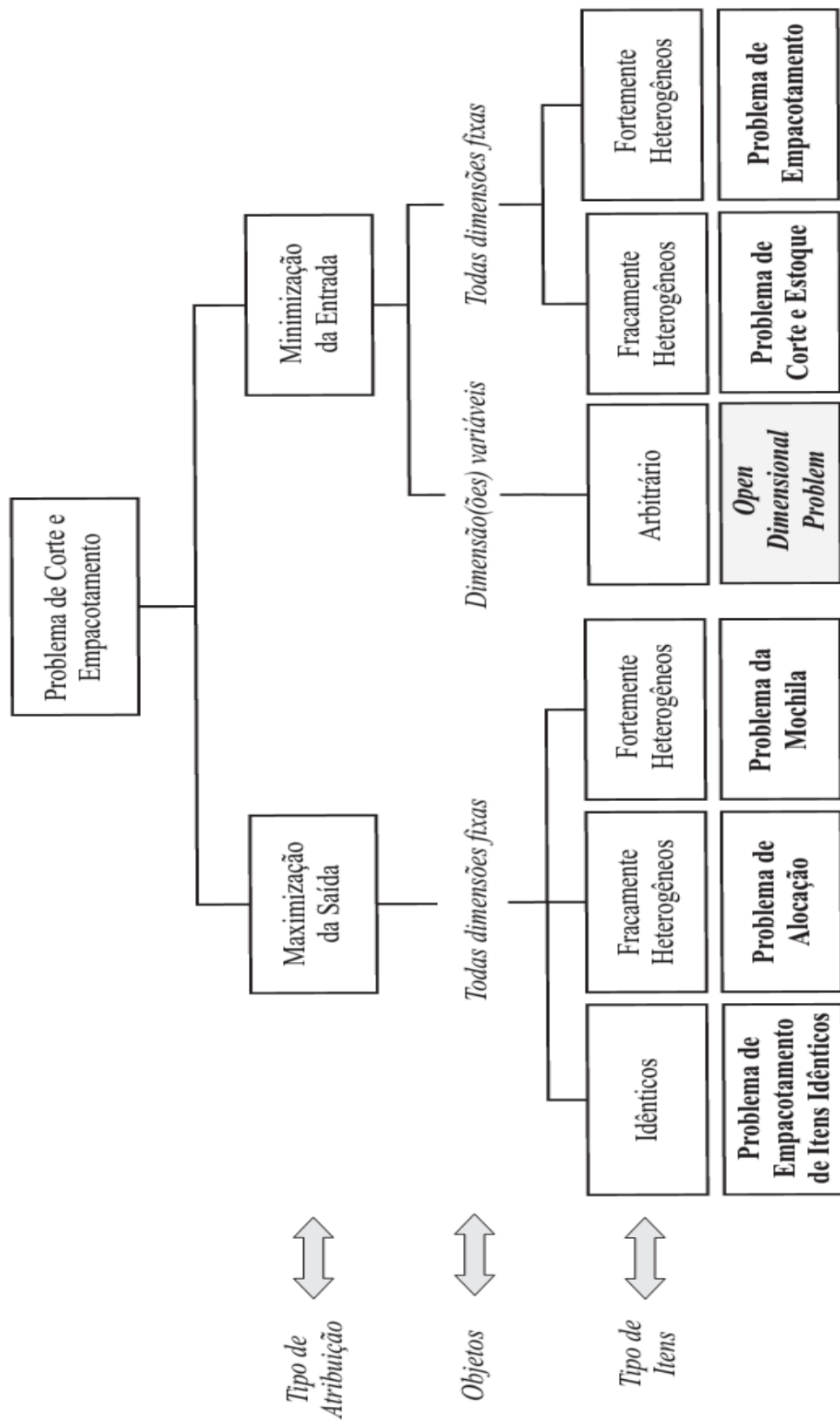


Figura 2.5: Tipologia dos PCE Wäscher et al. (2006)

Fonte: Temponi, 2007, p. 8.

2.3.2 Problema do Corte Bidimensional

O problema do corte bidimensional (PCB) aparece no processo de produção, em que uma placa retangular deve ser cortada em peças retangulares menores. O termo bidimensional é consequência de duas dimensões, usualmente largura e comprimento. A aplicação dos PCB é bastante vasta, sendo possível ver seu emprego em placas de vidro, tecido, madeira, papel, aço, entre outros. Ainda, este tipo de problema pode ser classificado em (i) guilhotinado (Figura 2.6): um corte é guilhotinado se, ao ser realizado sobre um retângulo, produzir dois retângulos) ou (ii) não guilhotinado (Figura 2.7): quando o corte guilhotinável não ocorre porque pelo menos uma das linhas de corte está interrompida.

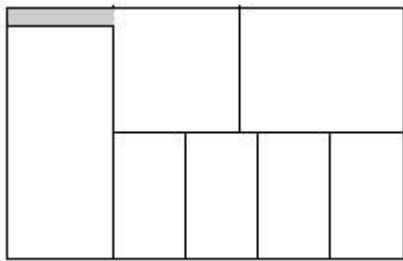


Figura 2.6: Corte guilhotinado.

Fonte: Autor (2016).

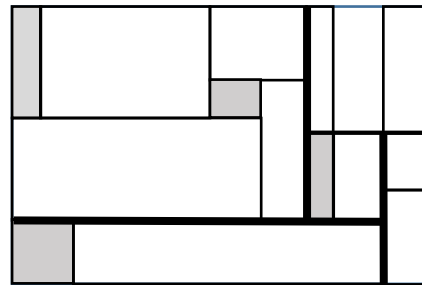


Figura 2.7: Corte não guilhotinado.

Fonte: Autor (2016).

O PCB pode ser definido da seguinte forma: considerando objetos de dimensões (H, W) , é necessário cortar, a partir deles, itens de dimensões (h_i, w_i) , em que h_i é o comprimento e w_i é a largura dos itens $i = 1, \dots, n$. É importante que o processo de corte respeite um conjunto de restrições impostas e padrões de corte gerados, geralmente relacionadas ao tipo de indústria.

O PCE, por se tratar de problemas combinatórios, que do ponto de vista da sua resolução são classificados como Não-Polinomial-Difícil ou NP-hard, não pode ser resolvido por algoritmos exatos em tempo polinomial. Um problema clássico da classe NP-Hard é o problema do caixeiro viajante, que normalmente demanda um grande esforço computacional e grande intervalo de tempo de execução, chegando a facilmente ter sua solução ótima inviável de ser encontrada, a depender da quantidade de cidades envolvidas no problema. Esta inviabilidade é atribuída à explosão combinatória de arranjos possíveis, quando o objetivo é determinar o arranjo ótimo. Em resumo, as técnicas exatas de otimização requerem um longo tempo

computacional de processamento e não propiciam resultados práticos em relação ao problema do caixeiro viajante.

Tabela 2.2 Tempo para solução do problema do caixeiro viajante.

n	rotas por segundo	(n - 1)!	cálculo total
5	250 milhoes	24	insignific
10	110 milhoes	362 880	0.003 seg
15	71 milhoes	87 bilhoes	20 min
20	53 milhoes	1.2×10^{17}	73 anos
25	42 milhoes	6.2×10^{23}	470 milhoes de anos

Fonte: <http://www.mat.ufrgs.br/~portosil/caixeiro.html> (acessado 23/08/2016).

Uma alternativa para resolver problemas da classe NP-Difícil é a utilização de métodos heurísticos, que, não garantem a obtenção da solução ótima do problema, mas asseguram boas soluções com menor esforço computacional, quando comparado à utilização de métodos exatos. (NORONHA, 2005).

2.3.2.1 Problema da geração de padrões de corte

Antes do corte da matéria prima, padrões de cortes são gerados e obtidos posicionando os itens da melhor forma possível, de modo que não haja sobreposição, tendo o melhor aproveitamento de matéria prima e evitando sobras e desperdícios. Em outras palavras, na geração dos padrões de corte, pretendem-se efetuar o posicionamento de um conjunto de itens, no interior de um objeto, de acordo com um determinado objetivo. Segundo Oliveira (1995), este objetivo pode ser a minimização de uma determinada função de custo, por exemplo, desperdício ou a maximização de qualquer função de valor. A resposta a problemas deste tipo implica na determinação de:

- a) Qual critério de posicionamento utilizar;
- b) Qual a técnica para que não haja sobreposição;
- c) Como inserir todos os itens se a placa for limitada;
- d) Qual a melhor disposição dos itens dentro de objetos.

Então, um padrão de corte corresponde ao arranjo geométrico dos itens a serem cortados a partir de um objeto, isto é, à forma como os objetos serão cortados para produzir itens menores. E, a depender do tipo de corte usado, algumas técnicas são utilizadas para construção de perfis de corte tais como:

- Métodos em dois estágios;
- Método em N estágios;
- Método particionar e limitar;
- Métodos heurísticos;
- Métodos analíticos.

O Método utilizado no presente trabalho é um método heurístico.

2.4 Estratégia e método de solução

Uma das formas possíveis de resolver o problema aqui estudado seria utilizando a intuição para definir alguns padrões de corte e assim escolher o melhor por tentativa e erro. Porém, como garantir que este padrão escolhido por tentativa e erro é o melhor? Ou como assegurar que não existem padrões melhores?

Segundo Laporte (1992), os métodos de solução são classificados em: algoritmos exatos e heurísticos. Já Cunha (1997) divide os métodos em três categorias:

- Métodos exatos – fornecem a solução ótima;
- Métodos heurísticos – fornecem soluções aproximadas, porém de forma rápida;
- Métodos emergentes – agrupam técnicas mais novas e avançadas com base em sistemas especialistas ou em métodos de busca ou iterativos.

Nas seções posteriores serão abordados um pouco melhor esses métodos. Portanto, diante da complexidade de muitos dos problemas de corte bidimensional, ainda não há algoritmos que resolvam o problema de forma exata para qualquer instância, apesar de existirem técnicas que geram soluções aproximadas em tempo adequado.

2.4.1 Heurísticas

Segundo Cordenosi (2008), o termo heurístico provê do grego *heuriskein* que significa descobrir e é do mesmo radical que deu origem à palavra *heureka*, imortalizada pelo matemático e filósofo Grego Arquimedes. Atualmente, esse termo é usado para descrever um

método “que, baseado na experiência ou julgamento, parece conduzir a uma boa solução de um problema, mas que não garante produzir uma solução ótima” [FOULDS, 1984].

Os métodos heurísticos, dependendo do autor, podem ser chamados de métodos de aproximação, e têm como características a velocidade de obtenção de resultados, além de permitir encontrar uma solução viável para um determinado problema, em um tempo razoável, apesar de não ser possível assegurar encontrar a melhor solução, ou seja, a solução ótima. O procedimento, em geral, é um algoritmo iterativo completo, no qual, cada iteração abrange a procura por uma nova solução que, poderia ser melhor que o melhor resultado encontrado até então (HILLIER & LIEBERMAN, 2006). Os métodos heurísticos são bastantes utilizados quando o tempo disponível para encontrar uma solução é escasso.

DIAZ et al. (1996) citam a existência de muitos fatores que tornam interessante a utilização de algoritmos heurísticos na resolução de um determinado problema, a saber:

- Quando não existe um método exato para a resolução deste problema ou o mesmo requer um tempo muito alto de processamento. Neste caso, oferecer uma solução boa é melhor do que não ter nenhuma solução;
- Quando não é necessária a solução ótima, pois as soluções obtidas já são razoáveis;
- Quando os dados são pouco confiáveis. Neste caso, a busca pela solução ótima não tem sentido, pois a mesma será uma aproximação da realidade;
- Quando limitações de tempo e/ou dinheiro obriguem a utilização de métodos de resposta rápida;
- Como passos intermediários de outros algoritmos, potencialmente exatos ou heurísticos.

2.4.2 Métodos exatos

Uma das características dos métodos exatos é o seu forte embasamento teórico, fator que proporciona a obtenção de soluções ótimas, dado que se disponha de recurso e tempo computacional suficiente. Os métodos de solução exata são utilizados para partes “resumidas” do problema, porque para os demais problemas, ou seja, problemas maiores, seria necessário muito tempo de processamento (BEZERRA, 1995).

Sabe-se que apesar de existir vários métodos exatos, seu uso depende do nível de dificuldade do problema. Em problemas do corte bidimensional de menor complexidade, por exemplo, é comum a utilização da PLI.

2.4.3 Métodos emergentes

As metaheurísticas configuram-se como métodos emergentes e, dessa forma, considera-se importante citá-las no presente trabalho. Segundo CUNHA, (1997), os métodos emergentes reúnem técnicas mais recentes e avançadas, como as metaheurísticas. Com o intuito de mudar e melhorar gradualmente a solução, apesar de os métodos emergentes poderem ser classificados como métodos heurísticos, foram categorizados dessa forma por utilizarem no mínimo dois procedimentos.

As metaheurísticas são princípios e ideias que levam ao desenvolvimento de novas classes de heurísticas, as quais buscam melhorar a eficiência de algoritmos aproximados e o número de solução para problemas complexos encontrados na prática (NORONHA, 2001 *apud* LISBOA, 2007). De acordo com a definição original de Glover e Kochenberger (2003), as metaheurísticas são métodos de solução que coordenam procedimentos de busca local, de forma a criar um processo capaz de escapar de mínimos locais e realizar uma busca robusta no espaço de soluções de um problema.

As metaheurísticas visam gerar um resultado satisfatório, porém como as heurísticas, elas não garantem a otimalidade, e deste modo são aplicadas para encontrar respostas de problemas que contêm poucas informações. Existem diversas formas de classificar as metaheurísticas, sendo as principais classificações as de relaxação, as construtivas, as de busca e as evolutivas. Os aspectos principais dessas classificações podem ser vistos na Tabela 2.3.

Tabela 2.3: Aspectos gerais de classificação das metaheurísticas.

Fonte: Adaptado de Santana et al. (2004) apud Lisboa (2007).

Metaheurísticas	Aspectos Gerais	Principais Métodos
De relaxação	Referem-se aos procedimentos de resolução de problemas que utilizam relaxação do modelo original que facilitam a solução	Relaxação Lagrangeana
Construtivas	São oriundas de uma função gulosa a partir da escolha dos elementos que produzem melhores resultados imediatos. Através de procedimentos que obtém soluções do problema por meio de um procedimento que incorpora iterativamente elementos a uma estrutura, inicialmente vazia que representa a solução.	GRASP, Colônia de Formigas
De busca	Definem estratégias para percorrer o espaço de soluções do problema, transformando de forma iterativa a solução inicial.	Busca Tabu, <i>Simulated Annealing</i> , <i>Hill Climbing</i> , <i>Best-first Search</i>
Evolutivas	Determinam estratégias que conduzem a evolução no espaço de busca do conjunto de soluções. É semelhante aos métodos de busca, diferenciando-se pela utilização de um conjunto de soluções simultâneas para definir a melhor solução.	Algoritmos Genéticos, Otimização por Enxame de Partículas.

3. METODOLOGIA

3.1 Classificação da pesquisa

Segundo Gil (1999), uma pesquisa consiste em um processo formal e sistemático de desenvolvimento do método científico com o intuito principal de levantar soluções para problemas a partir do uso de procedimentos científicos. Silva e Menezes (2005) afirmam que as pesquisas podem ser classificadas de diversas formas. A classificação pode ser feita quanto à natureza, abordagem do problema, objetivos e procedimentos técnicos da pesquisa.

O problema tratado no presente trabalho, é categorizada como pesquisa quantitativa onde, segundo Silva e Menezes (2005), leva em consideração tudo que pode ser quantificável, de modo que é possível transformar em números, informações e assim, serem feitas análises e classificações.

Em relação aos objetivos, avalia-se a pesquisa como exploratória e descritiva. Uma pesquisa exploratória é uma pesquisa preliminar, um pouco mais superficial, sua característica forte é pela existência de poucos dados disponíveis. Já a pesquisa descritiva trata-se da descrição das características de um determinado fenômeno ou estabelece relações entre variáveis que se manifestam espontaneamente.

Tratando dos procedimentos técnicos, a presente pesquisa caracteriza-se como estudo de caso. De acordo com Gil (1999), envolve o estudo aprofundado de aspectos empíricos e teóricos, com o objetivo de alcançar conhecimento. Na presente pesquisa, a observação técnica para coleta de dados usada foi a observação, a qual, de segundo Gil (2008), é realizada a partir de visitas, o que favorece o estudo, pois os fatos são percebidos diretamente, sem qualquer interferência, com o objetivo de adquirir informações e conhecimentos relevantes para o trabalho. Gil (2008) ainda ressalta, que a utilização desse método, pode adotar várias modalidades, sobretudo em função dos meios usados e do grau de participação do pesquisador.

Pelos meios utilizados, a observação pode ser estruturada ou não estruturada. Já em relação ao grau de participação, este pode ser participante ou não participante. O tipo que caracteriza essa pesquisa científica é de observação participante não estruturada, de modo que a participação é simples, pois o observador é mais um espectador que um ator da empresa estudada.

3.2 Desenvolvimento da Pesquisa

Como forma de facilitar a visualização e estruturar as etapas que fizeram parte do trabalho, foi desenvolvido um fluxograma, mostrado na Figura 3.1. As etapas que foram realizados são: identificação do problema, estruturação do projeto, coleta de dados, modelagem do problema, aplicação do método e análise de resultados.

A primeira etapa do trabalho foi identificação do problema e análise de viabilidade de sua execução e elaboração do estudo de caso. Em seguida, o escopo do trabalho foi criado com o objetivo de definir o problema, apontar as formas de alcançar o objetivo pretendido e definir as ferramentas a serem utilizadas. Em paralelo, realizou-se pesquisa bibliográfica sobre os temas envolvidos na presente pesquisa em livros, periódicos e teses. Na etapa de coleta de dados, foram feitas visitas à empresa têxtil analisada, afim de se obter informações acerca do atual plano de corte de tecidos, ou seja, como são feitos e posicionados os moldes e os custos associados a este processo.

Após a coleta dos dados, mais precisamente na etapa de modelagem do problema, foi usado o software *AutoCad* da Autodesk para desenho dos perfis de corte, e sua disposição no tecido. Ainda, foi feita a modelagem do problema utilizando o LINGO 16, software da LINDO Systems. Por fim, houve a aplicação do método do corte bidimensional e a análise de resultados através de uma comparação da situação obtida com a situação atual da empresa.



Figura 3.1: Fluxograma do Desenvolvimento da Pesquisa.

Fonte: Autor (2016).

4. ESTUDO DE CASO

Desde muito tempo, o desperdício é um termo presente e constante no cotidiano das indústrias e ainda mais comum nas pequenas e médias empresas, podendo ser de matéria prima, insumos, mão de obra, tempo, ou até mesmo potencial humano. Para muitas dessas pequenas empresas, estes desperdícios acabam sendo interpretados como um mal necessário ou algo comum para o processo produtivo. A causa disso é porque estes desperdícios são comumente difíceis de controlar ou mesmo porque, muitas vezes as empresas não têm recursos para isso.

O estudo de caso do qual será explanado nos itens posteriores abordará o desperdício de matéria prima no processo de corte de uma determinada empresa, que para facilitar a identificação e preservar sua identidade, será denominada empresa X. Neste capítulo, será feita ainda a descrição da empresa, mostrando o modelo utilizado atualmente, bem como os resultados obtidos através da metodologia aplicada para solucionar o problema. Em seguida, será apresentada a comparação do resultado obtido com o utilizado atualmente.

4.1 Caracterização da empresa

A empresa X, está localizada no Nordeste Brasileiro, exatamente na cidade de Caruaru, PE. A mesma atua no mercado há cinco décadas e atende a clientes em varejo e atacado não só de Caruaru e região, mas também de outros estados. Com 36 colaboradores, o que segundo o SEBRAE a caracteriza como pequena empresa, distribuídos em dois turnos, sendo 33 na produção e 3 no setor de vendas, obedecendo uma estrutura totalmente funcional mostrada no organograma da Figura 4.1.

Atualmente a empresa X dispõe de uma linha de produtos de calças sociais e camisas sociais masculinas, produzindo as calças em sua planta e terceirizando a produção das camisas. Em suas lojas, além da comercialização de seus produtos, a empresa também faz a venda de gravatas e cuecas de outras marcas.

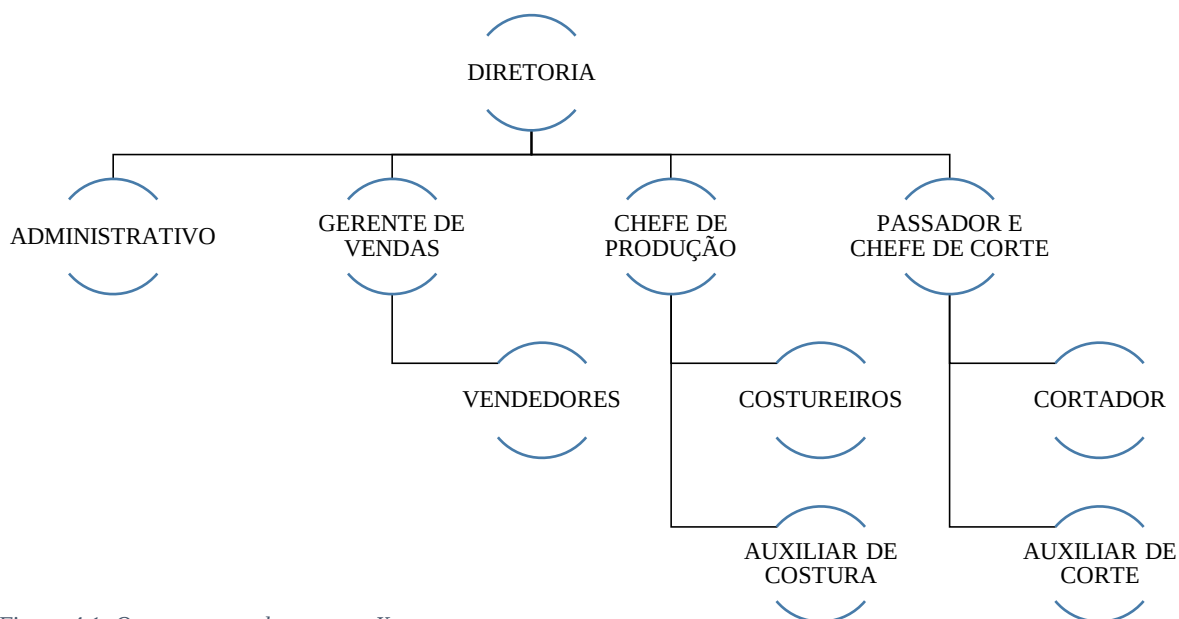


Figura 4.1: Organograma da empresa X.
Fonte: Autor (2016).

4.2 Definição do problema

O presente trabalho objetiva analisar um problema ligado ao processo de fabricação de calças sociais na empresa X, cujo o processo produtivo é definido de acordo com o fluxograma da figura 4.2. O estudo em si, será direcionado ao início do processo produtivo, especificamente no processo de corte. Atendendo a uma demanda de 50, 100 e 150 peças, por mês, para os tamanhos 42, 36, e 38 respectivamente, o processo de corte da empresa X não utiliza nenhum aparato tecnológico para reduzir o desperdício de matéria prima na fase de disposição dos moldes sobre o tecido e corte. Isso mostra o quão inenarrável será a contribuição do presente trabalho será para a empresa X não só para reduzir a perda de matéria prima, mas também para minimizar o impacto que o seu descarte em excesso venha ocasionar ao meio ambiente. Os rolos de tecidos são estendidos sobre uma mesa de 1500 mm de largura por 2500 mm de comprimento, onde é feita a distribuição dos moldes, logo em seguida riscos são feitos sobre o tecido e os moldes são então cortados.

Para o levantamento de dados, foram realizadas visitas e entrevistas com a finalidade de compreender o modelo atual, e tentar obter dados referentes a demanda e fatores gerenciais da empresa. Atualmente, outro fator relevante é que a empresa não utiliza nenhum método para

definição de perfis de corte e os cortes são feitos de maneira genérica, não apresentando um alto grau de precisão em relação ao aproveitamento da matéria prima. Assim, o problema aqui abordado consiste em determinar a melhor forma de cortar as peças, de forma a atender a demanda e reduzir a perda de matéria prima que impacta diretamente nos custos da empresa.

Para se atingir este objetivo, a modelagem do problema será realizada sob a ótica da PO e o software LINGO 16, da LINDO Systems, será utilizado para resolver o modelo.

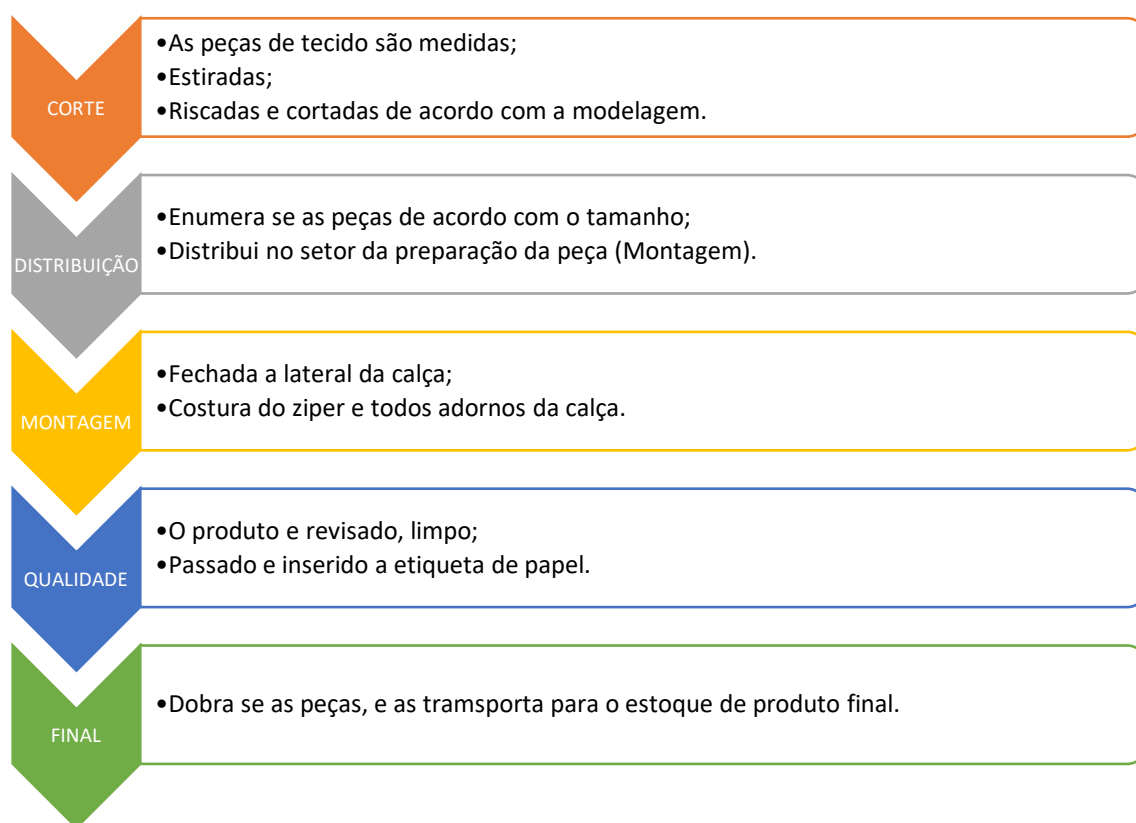


Figura 4.2: Fluxograma do processo produtivo das calças sociais.

Fonte: Autor (2016).

4.3 Aplicação do Método

Após algumas visitas a empresa X, foi possível obter, através da observação e perguntas frequentes ao chefe de corte, os dados necessários para elaboração do modelo proposto. Esses dados basicamente foram:

- Modelagem dos produtos;
- Dimensões da mesa de corte;

- Demanda dos produtos.

Após a obtenção dos dados, foi possível dar início à modelagem do problema. Como forma de discorrer melhor os processos para obtenção do modelo proposto, a Figura 4.3 ilustra as etapas seguidas para sua conclusão.

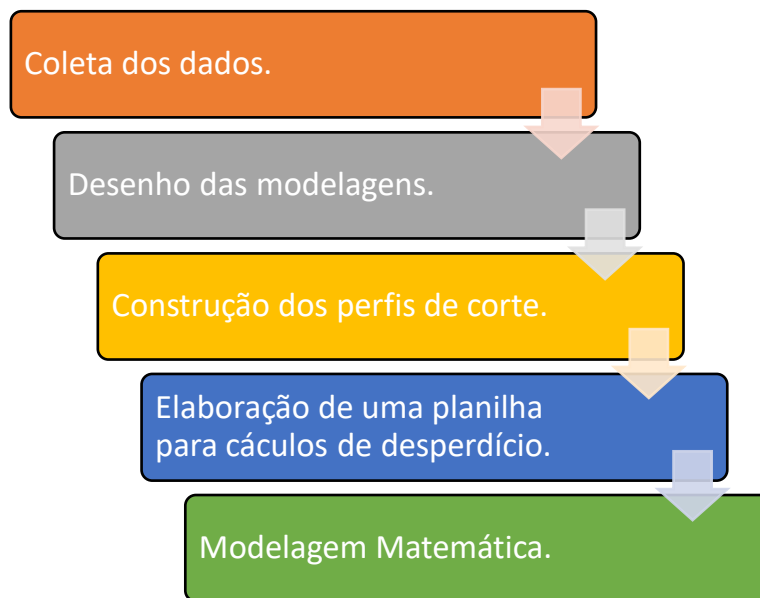


Figura 4.3: Sequências de etapas para elaboração do modelo.

Fonte: Autor (2016).

Com o auxílio do AUTOCAD 2016, software da Autodesk voltado para elaboração de desenhos, foi possível desenhar a modelagem já existente, em um meio digital (Figuras 4.4, 4.5 e 4.6).

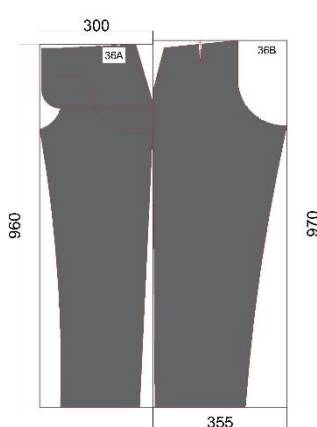


Figura 4.4: Modelagem N°36

Fonte: Autor (2016).

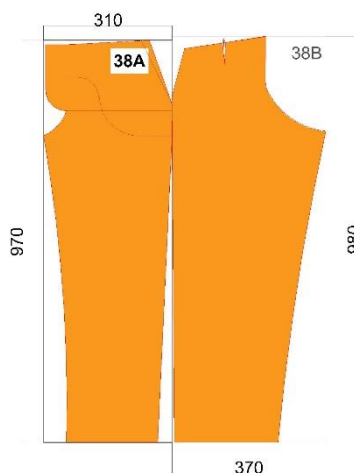


Figura 4.5: Modelagem N°38

Fonte: Autor (2016).



Figura 4.6: Modelagem N°42

Fonte: Autor (2016).

Com o AUTOCAD foi possível ainda obter um melhor aproveitamento da matéria prima, desenhando os moldes das peças em retângulos, dos quais suas dimensões foram definidas através de pontos extremos do molde.

A empresa, a depender do produto específico, trabalha com todas as numerações, ou seja, tamanhos que vão do 36 ao 52. Essas peças são cortadas conforme a solicitação do setor de vendas. No entanto, no período da realização do trabalho, foi feito corte apenas para 3 numerações (36, 38 e 42) para atendimento de suas demandas de 100, 150 e 50 peças, respectivamente.

Vale ressaltar que, na construção dos perfis de corte, algumas condições foram atendidas:

- Nenhum perfil de corte aceita corte individual, ou seja, o número 36 por exemplo, é cortado em 36A e 36B. Essa condição ajuda a fechar o produto em um único perfil de corte, não sendo necessário dois perfis para formar um produto.
- As dimensões do objeto variam com a disposição dos itens no perfil, porém suas dimensões máximas são 1500 mm (comprimento do rolo do tecido) por 2500mm comprimento máximo da mesa onde o tecido é estirado.

Essas condições auxiliaram de forma a simplificar a construção dos perfis e reduzir o número de perfis de cortes a ser utilizados. As figuras dos perfis de corte encontram-se no anexo desse trabalho. Finalmente, com auxílio do Excel 2016, software do pacote office da Microsoft dedicado a manuseio de planilhas, foi feita uma tabela de cálculo do desperdício de matéria prima e organização dos perfis de corte (Tabela 4.1).

Tabela 4.1: Dados inseridos no Excel.

	Perfis											
	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10	Perfil 11	Perfil 12
Nºs calças												
36A	2	2	1	2	1	2	1	4	0	0	1	2
36B	2	2	1	2	1	2	1	4	0	0	1	2
38A	1	1	2	1	1	1	2	0	4	0	1	2
38B	1	1	2	1	1	1	2	0	4	0	1	2
42A	1	1	1	1	2	1	1	0	0	4	1	0
42B	1	1	1	1	2	1	1	0	0	4	1	0
PERDA	0,44902	0,29152	0,90557	0,80152	0,2109	0,36652	0,27557	0,4181	0,4068	0,3956	0,61637	0,3337

Fonte: Autor (2016)

A partir dos dados da Tabela 4.1, foi criado um modelo de programação linear inteira mista que minimiza a quantidade de matéria prima perdida e satisfaz a demanda imposta pela empresa X.

Função objetivo:

(4.1)

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{i=1}^n P_i x_i$$

Sujeito à:

$$(1) \sum_{i=1}^n B_1 x_i \geq D_1$$

$$(2) \sum_{i=1}^n B_2 x_i \geq D_1$$

$$(3) \sum_{i=1}^n C_1 x_i \geq D_2$$

$$(4) \sum_{i=1}^n C_2 x_i \geq D_2$$

$$(5) \sum_{i=1}^n E_1 x_i \geq D_3$$

$$(6) \sum_{i=1}^n E_2 x_i \geq D_3$$

$$(7) \sum_{i=1}^n x_i \geq 0$$

Onde:

- n é o número de variáveis relativas à quantidade de perfis que o modelo possui, neste caso específico, $n = 12$ conforme apêndice ;

- x_i são as variáveis de decisão que indicam o número de vezes que determinado perfil de corte tipo i deve ser usado;
- P indica a quantidade de perda em m^2 para cada perfil de corte;
- B_1 é a quantidade de itens 36A contido no perfil de corte i ;
- B_2 é a quantidade de itens 36B contido no perfil de corte i ;
- C_1 é a quantidade de itens 38A contido no perfil de corte i ;
- C_2 é a quantidade de itens 38B contido no perfil de corte i ;
- E_1 é a quantidade de itens 42A contido no perfil de corte i ;
- E_2 é a quantidade de itens 42B contido no perfil de corte i ;
- D_1 é a demanda de itens N°36;
- D_2 é a demanda de itens N°38;
- D_3 é a demanda de itens N°42.

Com o software LINGO foi possível resolver o problema de programação linear inteira, figura 4.7. A modelagem do problema apresentou resultados positivos para o estudo. Decorridos aproximadamente 0,12 segundos, com exatamente 12 interações e 12 variáveis, foi possível alcançar uma solução ótima de 23,23855 m^2 de desperdício de matéria prima e ainda atendendo a demanda estabelecida pela empresa e as condições para elaboração dos perfis de corte.

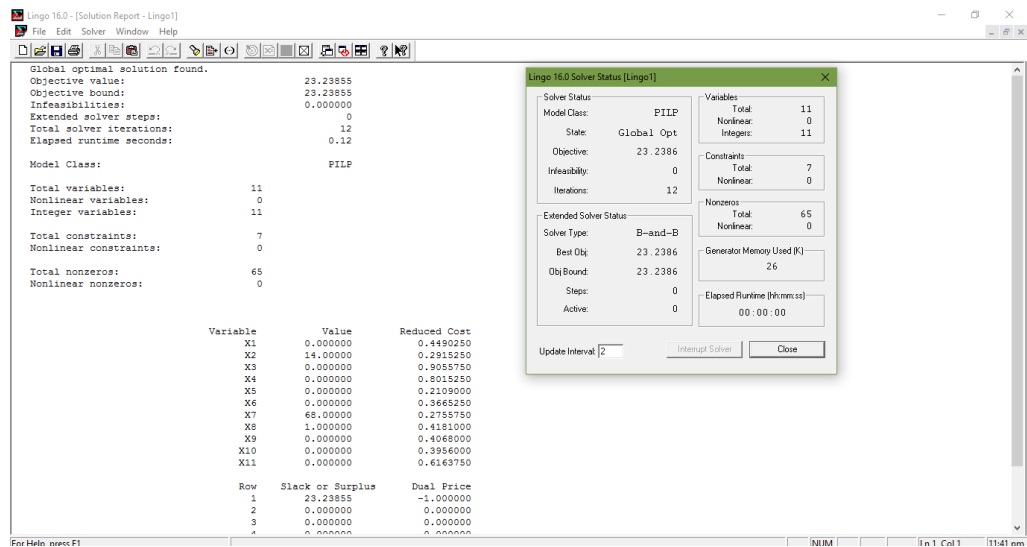


Figura 4.7: Tela de resultados do Lingo.

Fonte: Autor (2016).

Os valores assumidos pelas variáveis de decisão foram:

$X_1 = 0$; $X_2 = 14$; $X_3 = 0$; $X_4 = 0$; $X_5 = 0$; $X_6 = 0$; $X_7 = 68$; $X_8 = 1$; $X_9 = 0$; $X_{10} = 0$; $X_{11} = 0$; $X_{12} = 0$.

Este resultado indica que o perfil de corte 2 será executado 14 vezes, seguido pelo perfil de corte 7 executado 68 vezes e o perfil 8, executado apenas um vez, acarretando perda de $23,23855 \text{ m}^2$ de tecido. Na tabela 4.1 é possível visualizar as colunas em destaque.

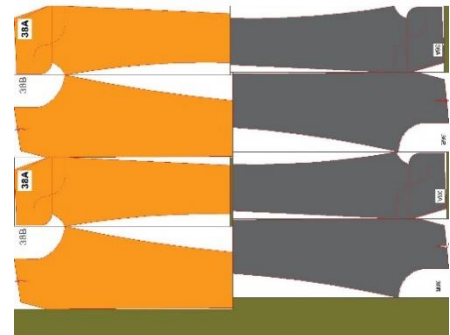
4.4 Comparação entre o Método atual e o Método proposto

Como mencionado em tópicos anteriores, atualmente a empresa X cria seu perfil de corte com base no conhecimento empírico do chefe de corte e na demanda do produto. Isto é feito, mais precisando, pela disposição no tecido do máximo de peças possíveis e objetivando utilizar o menor número de perfis. A Figura 4.8 ilustra os perfis utilizados pelo chefe de corte para atender à demanda de 50, 100 e 150 peças para os tamanhos 42, 36 e 38 respectivamente.



Figura 4.8: Perfis utilizado pelo chefe de corte.

Fonte: Autor (2016).



Ao executar 50 vezes o perfil da esquerda e 25 vezes o perfil da direita e assim atender a demanda, foi obtido uma perda de matéria prima de cerca de $53,6213 \text{ m}^2$, isto representa em torno de 56,662% a mais do modelo proposto neste trabalho.

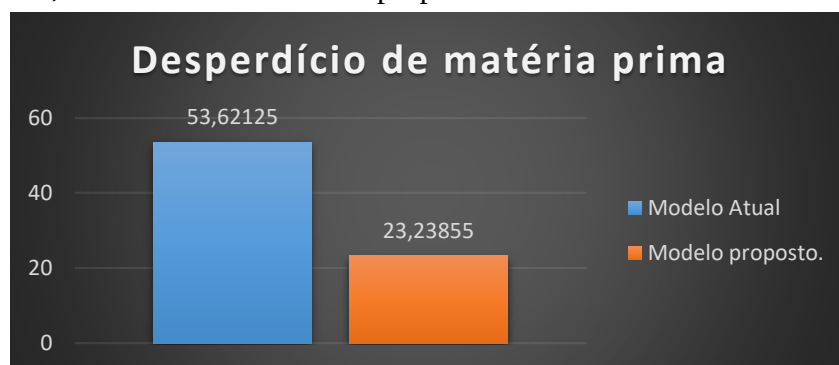


Figura 4.9: Gráfico do Desperdício de matéria prima.

Fonte: Autor (2016).

Como observado na Figura 4.9, o ganho produtivo no processo é muito significativo. Sob uma perspectiva financeira, essa redução de perda de matéria prima significa cerca de R\$ 212,68 economizados, considerando que o preço do tecido é de R\$ 7,00, o metro quadrado.

5. Conclusão

Após observar o processo de corte da empresa X ficou notório a necessidade de melhorar o mesmo, tanto para um ganho em redução de custo, como pela minimização do impacto ambiental que o excesso de descarte de matéria prima venha ocasionar. Com isso, o presente trabalho objetivou propor uma maneira de programar o processo de corte de uma fábrica de calças minimizando a perda de tecido e atendendo a uma referida demanda.

No atual cenário econômico do país, o quão mais competitiva for a empresa, melhor será para a mesma contornar a situação. No que diz respeito à redução de custo, a aplicação do método proposto alcançou um excelente resultado pois houve redução de desperdício de matéria prima cerca de 56% na produção de calças nos tamanhos 36,38 e 42, atendendo as demandas destes produtos de 100, 150 e 50, respectivamente.

A utilização do AUTOCAD, além de ajudar na visualização da disposição dos moldes no tecido, contribuiu para um redesenho dos moldes e dos perfis de corte de forma a maximizar o aproveitamento do tecido. Neste software, foi possível visualizar que muitos perfis de corte elaborados eram exatamente iguais em termos de desperdício e que o que os diferenciavam era como os itens estavam dispostos no tecido (horizontalmente ou verticalmente). Ainda, essa redução no número de perfis foi suficiente para um ganho no processamento dos dados, obtendo assim uma solução mais rápida.

Com o auxílio da teoria sobre o problema do corte, foi possível modelar o problema e, juntamente com o LINGO resolvê-lo. Dessa forma, isto mostra que a utilização das ferramentas, em conjunto com a teoria disponibilizada, proporcionou à empresa estudada uma oportunidade de melhorar seu processo produtivo.

Como sugestão para trabalhos futuros, sugere-se o desenvolvimento de uma heurística para geração dos perfis de corte, uma vez que quanto maior for a quantidade de itens, maior será o número de perfis de corte que possam ser utilizados. Essa heurística, apoiada paralelamente com o problema do corte, pode alcançar resultados ainda melhores que os obtidos neste trabalho.

Referências Bibliográficas

AMORIM, Alberto Henrique. **Competitividade internacional do complexo têxtil brasileiro no período 1998 a 2006**. REDIGE, v. 2, n. 1, 2011.

BEZERRA, O. B. **Localização de postos de coleta para apoio ao escoamento de produtos extrativistas – um estado de caso aplicado ao babaçu**. 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – UFSC. Santa Catarina, 1995.

CORDENONSI, A.Z. Ambientes, Objetos e Dialogicidade: **Uma Estratégia de Ensino Superior em Heurísticas e Metaheurísticas**. Tese de Doutorado: Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação – UFRGS, 2008.

COSTA, A. C. R. da; ROCHA, E. R. P. da. **Panorama da cadeia produtiva têxtil e de confecções e a questão de inovação**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.29, p.159-202, mar.2009.

COSTA, Shirley; BERMAN, Debora; HABIB, Roseane Luz. **150 anos da indústria têxtil brasileira**. Rio de Janeiro: SenaiCetiq/Texto&Arte, 2000.

CUNHA, C. B. **Uma Contribuição para o Problema de Roteirização de Veículos com Restrições Operacionais**. 1997. Tese (Doutorado) – EPUSP. São Paulo, 1997.

DARBY-DOWMAN, K., RANGEL, S. **The Application of Preprocessing and Cutting Planes for a Class of Production Planning Problems, Computational Optimization and Applications, The Netherlands**, v.11, p. 297-318, 1998.

FLORENTINO, H.O. **Programação linear inteira em problemas de aproveitamento da biomassa residual de colheita da cana-de-açúcar**. 2005, 64 p. Tese (Livre Docência)

Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu-SP, 2005.

FLORENTINO, H.O. **Relaxação lagrangeana em programação inteira**. USP, São Carlos, 89p, 1990.

FOULDS, L. R. **Combinatorial Optimization for Undergraduates**. Springer-Verlag, New York, 1984, p. 114.

Freitas, Tatiana. “ **Com ajuda do câmbio, setor têxtil deve crescer 5% em 2016.** ”
Folha de S. Paulo (São Paulo, SP), Fevereiro 4, 2016.
<http://www1.folha.uol.com.br/mercado/2016/02/1736957-com-ajuda-do-cambio-setor-textil-deve-crescer-5-em-2016.shtml/> (Acessado em Agosto 03, 2016).

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GLOVER, F.; KOCHENBERGER, G. A. **Handbook of metaheuristics**. New York. Kluwer Academic Publishers. 2003.

GOLBARG, M.C., LUNA H. P. L. **Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos**. Rio de Janeiro: Campus, 2000.

GOMORY, R. E. **Outline of an algorithm for integer solutions to linear programs**. **Bulletin of the American Math. Society**, New York, v.64, p. 275-278, 1958.

GUERREIRO, J., MAGALHAES, A., RAMALHETE, M. **Programação Linear**. Lisboa: Mcgraww-hill, v 2, 357p, 1985

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 8 ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

KELLER, Paulo Fernandes. **Impactos da globalização econômica sobre a cadeia têxtil brasileira: O caso do pólo têxtil de Americana (SP)**. Revista Universidade Rural, Série Ciências Humanas. Seropédica, RJ, EDUR, v. 28, n. 1, jan.-dez., 2006. p. 59-77.

LACERDA, L. S.; VASCONCELLOS, R. S. **Utilização de planilhas eletrônicas em programação matemática**. SOBRAPO - Pesquisa Operacional. Rio de Janeiro, vol. 16, n. 2, 1996.

LACHTERMACHER, G. **Pesquisa operacional na tomada de decisão: Modelagem em Excel**. 2º ed.- 1ª ed.- Rio de Janeiro: Elsevier, 321p, 2004.

LAI, k. k. **Developing a simulated annealing algorithm for the cutting stock problem**, **Computers & Industrial Engineering**.v. 32, p. 115-127, 1997.

MATHIAS, Herculano Gomes. **Algodão no Brasil**. Rio de Janeiro: Editora Index, 1988

MORABITO, REINALDO et al. **Pesquisa Operacional: Para cursos de engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015 .744p.

MUNIZ JUNIOR, JORGE et al./ **Administração de Produção**. / Jorge Muniz Junior et al. – Curitiba: IESDE Brasil S.A. ,2012. 320p.

NORONHA, T. F.; SILVA, M. & ALOISE, J. D. **Uma Abordagem sobre Estratégias Meta-heurísticas**. 2005.

OLIVEIRA, J. F. **Problemas de Posicionamento de Figuras Irregulares: uma perspectiva de otimização**. Tese de Doutorado, Universidade do Porto,1995.

SEBRAE. **Estudo econômico do arranjo produtivo local de confecções do agreste pernambucano, 2012 Relatório final.** Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas do Estado de Pernambuco Sebrae / Pernambuco

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação.** Laboratório de Ensino à Distância da UFSC. Florianópolis, 2005.

STEIN, Stanley J. **Origens e evolução da indústria têxtil no Brasil – 1850/1950.** Rio de Janeiro: Editora Campus LTDA, 1979.

SUZIGAN, W. **Indústria Brasileira, origem e desenvolvimento.** São Paulo, Brasiliense, 1986.

TEIXEIRA, Francisco MP. **A história da indústria têxtil paulista.** Sinditêxtil-SP, 2007.

TEODORO, ALAN AUGUSTO. **O problema do corte bidimensional: uma abordagem utilizando o método de geração de colunas.** I Alan Augusto Teodoro – Campinas [S.P. :s.n.], 2003 63p.

THARA, H.A. **Integer programming: theory, applications and computations.** Academic Press, New York, 220p, 1975.

Apêndice



Figura - Perfil 1 (2070x1500) mm

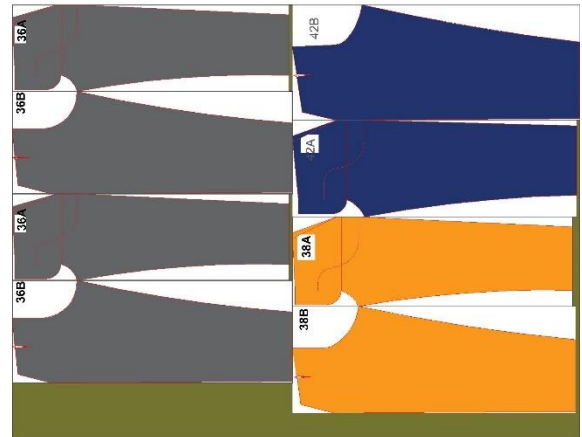


Figura - Perfil 2 (1965x1500) mm.



Figura - Perfil 3 (2395x1500) mm.

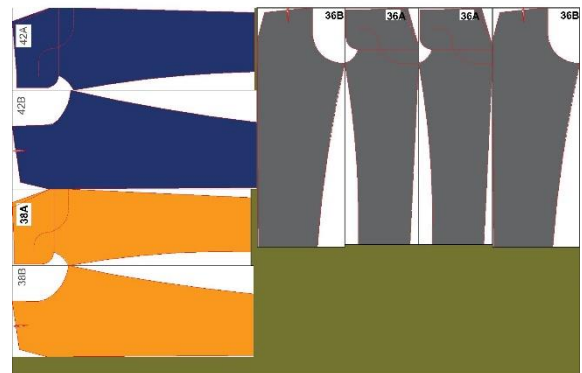


Figura - Perfil 4 (2305x1500) mm



Figura - Perfil 5 (1975x1500) mm

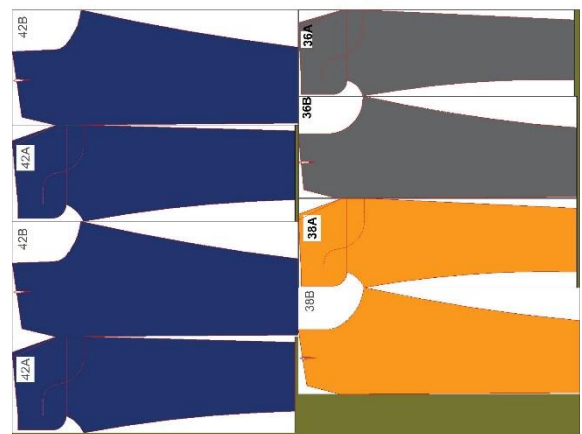


Figura - Perfil 6 (2015x1500) mm

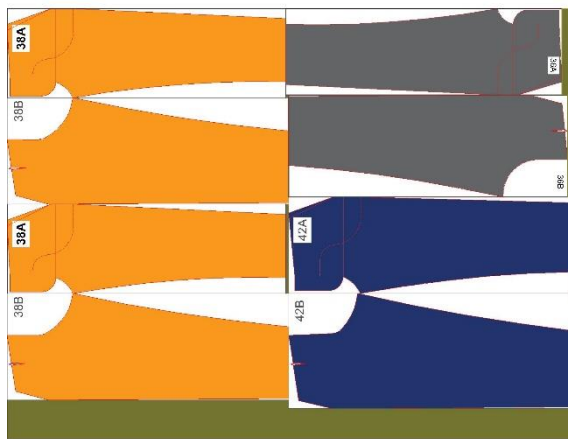


Figura - Perfil 7 (1975x1500) mm

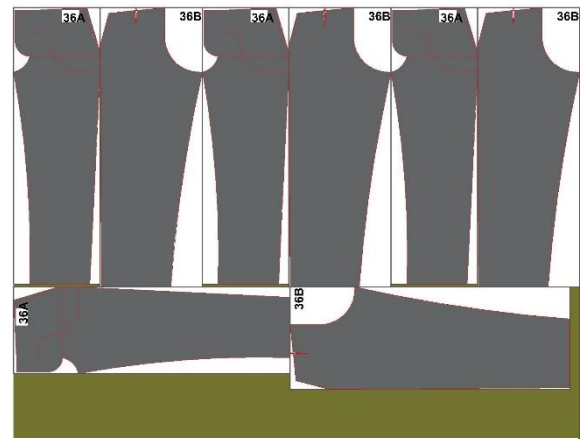


Figura - Perfil 8 (1965x1500) mm



Figura - Perfil 9 (2040x1500) mm



Figura - Perfil 10 (2205x1500) mm



Figura - Perfil 11 (1965x1500) mm

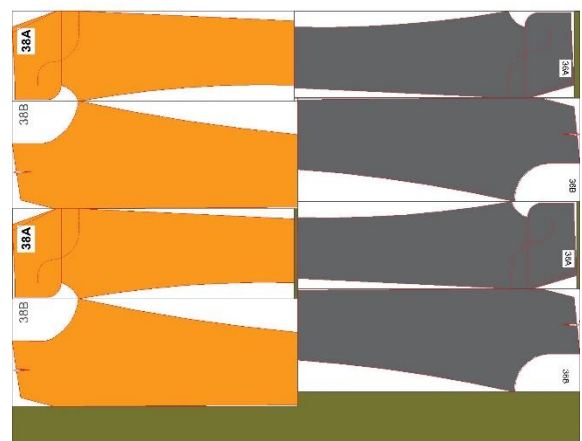


Figura - Perfil 12 (1950x1500) mm