

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

HIONE CLEDER WAVRZYNCZAK

UM ESTUDO PARA OTIMIZAÇÃO EM UM PROBLEMA ENVOLVENDO CORTES  
UNIDIMENSIONAIS

Jaraguá do Sul - SC

2017

HIONE CLEDER WAVRZYNCZAK

UM ESTUDO PARA OTIMIZAÇÃO EM UM PROBLEMA ENVOLVENDO CORTES  
UNIDIMENSIONAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica do Câmpus Jaraguá do Sul – Rau, do Instituto Federal de Santa Catarina, para obtenção do diploma de Tecnólogo em Fabricação Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Gerson Ulbricht.

Jaraguá do Sul – SC

2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Wavrzynczak, Hione Cleder

**Um Estudo para Otimização em um Problema Envolvendo Cortes Unidimensionais / Hione Cleder Wavrzynczak ; orientação de Gerson Ulbricht. Jaraguá do Sul, SC, 2017.**

50 p.

**Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Jaraguá do Sul -**

**Rau. Fabricação Mecânica. .**

Inclui Referências.

1. Cortes unidimensionais. 2. Minimização de perdas.  
3. Modelo matemático. 4. Triângulos. I. Ulbricht,  
Gerson. II. Instituto Federal de Santa Catarina. . III.  
Titulo.

UM ESTUDO PARA OTIMIZAÇÃO EM UM PROBLEMA ENVOLVENDO CORTES  
UNIDIMENSIONAIS

HIONE CLEDER WAVRZYNCZAK

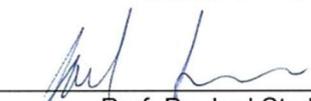
Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Tecnólogo em Fabricação Mecânica e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

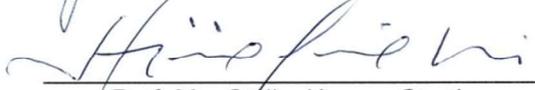
Jaraguá do Sul, 23 de fevereiro de 2017.

Banca Examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Gerson Ulbricht (orientador)  
Doutor em Métodos Numéricos em Engenharia

  
\_\_\_\_\_  
Profa. Ma. Miriam Hennig (Professora da Disciplina TCC)  
Mestre em Letras

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Joel Stryhalski..  
Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Me. Stélio Jácomo Storti..  
Mestre em Desenvolvimento de Fontes Alternativas de Energia

Dedico a todos que de alguma  
forma contribuíram para minha  
vida pessoal, profissional e  
acadêmica.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

A minha família e amigos, pelo apoio e incentivo durante o curso.

A minha esposa, pela paciência e compreensão.

Ao meu orientador, pelo empenho dedicado à elaboração deste trabalho.

Aos meus amigos do IFSC, pelos momentos de solidariedade.

Ao IFSC – Campus Jaraguá do Sul – Rau, pelo ambiente criativo e amigável que proporciona.

A todos os professores, por me proporcionarem o conhecimento.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado!

“É bom comemorar o sucesso, mas é mais importante prestar atenção às lições do fracasso”. (Bill Gates)

## RESUMO

Neste trabalho é apresentado um modelo matemático de otimização com objetivo de minimizar o desperdício de matéria-prima. Trata-se de um problema de corte unidimensional de barras de aço cilíndricas para a fabricação de triângulos, cuja resolução se dá pela utilização de ferramentas matemáticas da área da Pesquisa Operacional. Em um primeiro estágio foi estabelecido o maior número possível de padrões de corte. No segundo estágio, foram definidos quais padrões seriam utilizados e em que quantidade, de modo a atender às demandas previstas. Para validação do modelo, foi resolvido um problema baseado em dados de uma empresa fabricante de instrumentos musicais, buscando a redução das sobras de matéria-prima no processo de corte de barras de aço, na fabricação de triângulos. Testes realizados têm mostrado boas perspectivas quanto à redução nos desperdícios, o que demonstra que o modelo se apresenta como uma ferramenta para auxílio à decisão na gestão de recursos produtivos.

Palavras-chave: Cortes unidimensionais. Minimização de perdas. Modelo matemático. Triângulos.

## **ABSTRACT**

This work presents a mathematical model of optimization in order to minimize the waste of raw material. It is a problem of one-dimensional cutting of cylindrical steel bars for the manufacture of triangles, and its resolution is with the use of mathematical tools of the Operational Research area. It was established in the first stage the highest possible number of cutting patterns. In the second stage it was defined which standards would be used and in what quantity, to meet the expected demands. To validate the model, a problem was solved based on data from a company that manufactures musical instruments, seeking the reduction of raw material leftovers in the process of cutting steel bars in the manufacture of triangles. The performed tests show good perspectives for the reduction in waste. This demonstrates that the model is presented as a tool for decision aid in the management of productive resources.

Keywords: One-dimensional cutting. Loss minimization. Mathematical model. Triangles.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Problema de Transporte.....	28
Figura 2 – Dimensões em Problemas de Corte.....	30
Figura 3 – Diferentes tipos de máquinas utilizadas para serrar. ....	32
Figura 4 – Alguns tipos de triângulos produzidos.....	35
Figura 5 – Desperdícios no processo de cortes .....	36
Figura 6 – Planilha para Cálculo dos Desperdícios.....	39
Figura 7 – Planilha (parcial), antes da execução do Solver .....	41
Figura 8 – Fórmulas utilizadas na Planilha Excel .....	42
Figura 9 – Preenchimento da Janela Solver - Excel.....	43
Figura 10 – Planilha com resultados após a execução do Solver.....	44
Figura 11 – Padrões a serem realizados.....	44

## LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 – Algumas teorias da Evolução Histórica da Administração da Produção	22
Tabela 1 - Medidas a serem cortadas .....	36
Tabela 2 - Exemplos de padrões de cortes .....	37
Tabela 3 - Demandas mensais para cada um dos 4 tipos de triângulos .....	38

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1 Problema .....	15
1.2 Justificativa.....	15
1.3 Objetivos .....	16
1.3.1 Objetivo Geral .....	16
1.3.2 Objetivos Específicos .....	16
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>17</b>
2.1 Evolução Histórica da Administração da Produção .....	17
2.2 Eficiência e Eficácia Produtiva.....	23
2.3 Pesquisa Operacional .....	25
2.3.1 Algumas Categorias de Problemas Abordados pela PO .....	26
2.4 Operação de Serramento.....	32
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>33</b>
3.1 Identificação do problema .....	33
3.2 Modelagem do problema .....	33
3.3 Método de Resolução .....	34
3.4 Testes comparativos aplicados na indústria .....	34
<b>4 MODELAGEM MATEMÁTICA E COMPUTACIONAL DO PROBLEMA</b> .....	<b>35</b>
4.1 Características da matéria-prima e dos produtos a serem fabricados.....	35
4.2 Padrões de Corte.....	36
4.3 Modelo Matemático .....	38
4.4 Resolução do Modelo Matemático.....	41
<b>5 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>46</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>48</b>
<b>APÊNDICE A: ARTIGO PUBLICADO</b> .....	<b>50</b>
<b>ANEXO A: CLASSIFICAÇÃO QUALIS CAPES</b> .....	<b>51</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento da competitividade entre as empresas faz com que estas busquem melhorar seu rendimento por meio da utilização adequada dos recursos disponíveis. Estas melhorias consistem em procurar estratégias que contribuam para o melhor aproveitamento da matéria-prima, dos recursos humanos e tecnológicos e demais fatores que possam colaborar com a eficácia do processo produtivo.

Ferramentas matemáticas têm sido amplamente difundidas nos últimos anos, e sua utilização no ambiente industrial contribui para melhorias no processo de produção, de modo a evitar gastos excessivos de recursos.

Verificando em uma empresa fabricante de instrumentos musicais a forma como ocorre o processo de cortes de barras e o grande desperdício de material, foi notada a necessidade de fazer um estudo, de modo a implantar um modelo capaz de contribuir para a redução dessas perdas.

Com base nas ideias relacionadas aos problemas de corte unidimensionais verificou-se a possibilidade de implantar um modelo de otimização, pois no processo de produção há a necessidade de programar cortes em barras de aço, de modo a atender às demandas para produção de diferentes itens, sendo estas peças para instrumentos musicais com diferentes medidas.

Assim, depois de verificado como se dá o processo de produção nesta empresa em que ocorre constante perda de matéria-prima, não sendo possível seu reaproveitamento, foi formulado um modelo matemático voltado a reduzir tais desperdícios por meio do estabelecimento de um correto planejamento no processo de cortes de barras de aço.

Dessa forma, em um primeiro momento foi identificado o maior número possível de padrões de cortes para essas barras, nas medidas a serem utilizadas. Após esse procedimento, partiu-se para uma segunda etapa, em que foi elaborado um modelo matemático capaz de estabelecer quais destes padrões de corte serão utilizados e em que quantidade, de forma a cumprir as demandas e reduzir desperdícios.

Nota-se que o modelo de otimização proposto é uma importante ferramenta no apoio à decisão, contribuindo assim para o melhor aproveitamento dos recursos disponíveis na empresa.

## 1.1 Problema

Considerando o desperdício de matéria-prima ocasionado durante o processo de corte de barras de aço — o que acaba conseqüentemente por aumentar os gastos da empresa na fabricação final das peças gerando assim resíduos industriais —, nota-se a necessidade de implementar um estudo para analisar qual é a melhor forma de realizar os cortes das barras para minimizar estas perdas.

Um planejamento de produção que diminua os desperdícios pode ser incorporado aos documentos que servem para orientar os padrões de corte a serem usados para cada tipo de barra. Sendo assim, surge a pergunta orientadora da pesquisa: Como instituir um planejamento de cortes que seja capaz de atender às demandas preestabelecidas de cada tipo de item, minimizando os desperdícios ocasionados no processo de corte de barras?

## 1.2 Justificativa

Verificando a forma como ocorre o processo de cortes de barras em uma empresa fabricante de instrumentos musicais percebeu-se desperdício de material, sendo que estas perdas associadas à fabricação de triângulos são significativas pela demanda e representatividade deste produto para a empresa analisada.

Em função das constantes ocorrências de sobras e perdas de material ocasionadas durante o corte das barras é necessário que os processos sejam revistos para que estas sobras possam ser reduzidas. A busca pela minimização desse desperdício é uma tarefa constante, e exige um complexo arranjo de combinações possíveis de padrões de corte, geralmente realizados de forma arbitrária, sem utilização de métodos científicos.

Com base nas ideias relacionadas aos problemas de corte unidimensionais verificou-se a possibilidade de implantar um modelo de otimização nesta empresa, cujo processo de produção necessita da programação de cortes em barras de aço com 6000 mm de comprimento, de modo a atender à demanda para a produção de triângulos, que são peças para instrumentos musicais com diferentes medidas.

Busca-se assim, por meio deste trabalho, desenvolver métodos que permitam encontrar a maior quantidade possível de padrões de corte das barras, avaliando os

processos para minimizar as perdas atuais e incorporando essa informação no documento, a fim de orientar os padrões de corte a serem utilizados para cada demanda a ser cumprida.

## **1.2 Objetivos**

### 1.3.1 Objetivo Geral

Criar uma metodologia que possa ser utilizada nas decisões referentes ao processo de cortes de barras em uma empresa do ramo de instrumentos musicais da cidade de Jaraguá do Sul, no estado de Santa Catarina, na operação de especificação e orientação de corte, buscando a minimização do desperdício de matéria-prima.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar as características do problema;
- Estudar problemas de cortes unidimensionais existentes na literatura e adaptá-los ao problema identificado na indústria;
- Compreender o cenário industrial com possíveis demandas para cada tipo de peça a ser cortada, bem como o tipo de barra padrão;
- Desenvolver um modelo matemático de otimização e executá-lo com auxílio computacional;
- Analisar as respostas obtidas pelo modelo de otimização para um determinado cenário e compará-las ao método atual utilizado na empresa.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Um dos fundamentos escolhidos para o referencial teórico é a teoria da administração da produção, que vem sendo desenvolvida desde o fim do século XIX por cientistas e empresários industriais, e tem como foco a evolução do manejo da produção melhorando a eficiência, produtividade e otimização de recursos. Conforme o tempo vai passando, essas teorias vão se refinando através de novos estudos, buscando melhores resultados no que diz respeito à administração da produção.

Outro tema abordado no referencial teórico foi a Pesquisa Operacional, por se tratar de uma ciência de grande importância para as empresas de diversas áreas, ajudando-as na tomada de decisões. Neste caso, a PO foi utilizada para resolver o problema de corte em uma empresa, garantindo que a perda do material utilizado seja a mínima possível conforme sua demanda. Como complemento foi discutida também a eficiência produtiva, por ser considerada o grande foco das empresas nos dias atuais, buscando utilizar os recursos disponíveis das organizações de uma forma coerente, minimizando o desperdício de matéria-prima e atingindo, assim, maior produtividade com menores custos operacionais, gerando mais lucro para as empresas.

Esse capítulo está estruturado de forma a abordar primeiramente a evolução histórica da administração da produção, seguindo por conceitos da Pesquisa Operacional e finalizando com abordagens envolvendo problemas de corte.

### **2.1 Evolução Histórica da Administração da Produção**

Desde os primórdios da humanidade já eram realizados processos de produção, cujos artesãos da época ou pré-históricos buscavam transformar madeiras e pedras em utensílios mais eficazes em sua utilização. Segundo Martins e Laugeni (2005), esses materiais produzidos não eram comercializados, mas utilizados somente por quem os produzia. Logo em seguida, devido às habilidades de alguns artesãos surgiu o primeiro sistema de produção organizado, que tinha como objetivo a lucratividade gerando grandes demandas. Assim os artesãos foram obrigados a

contratar ajudantes e desenvolver novas ferramentas que contribuíssem com o trabalho, diminuindo o desgaste humano e, assim, desempenhando um sistema produtivo mais desenvolvido.

Com a invenção da máquina a vapor em 1764 por James Watt (1736- 1819), houve uma grande transformação do processo produtivo da época. Algumas tarefas antes realizadas de forma manual foram substituídas por processos mecanizados, ocorrendo, assim, um grande enfraquecimento da chamada produção artesanal. Esse surgimento também provocou uma grande transformação no setor econômico, político e social daquela época, difundindo-se rapidamente para o restante do mundo, acarretando no desaparecimento de pequenas oficinas e artesãos, surgindo, por consequência, grandes indústrias de produção de grande escala (CHIAVENATO, 2004).

Para Peinado e Graemi (2007), toda essa transformação que revolucionou o processo produtivo se iniciou na Inglaterra e logo se espalhou para outros países, colaborando com o desenvolvimento industrial. Essa primeira mudança no setor ficou conhecida como Primeira Revolução Industrial ou revolução do carvão e do ferro (1780 a 1860), cuja base energética da época era o carvão mineral e os principais acontecimentos foram a mecanização nas indústrias e na agricultura, aplicação da força motriz nas indústrias, o desenvolvimento fabril e a agilidade dos transportes e das comunicações (CHIAVENATO, 2004).

Entre os anos de 1860 a 1914 ocorreu a segunda fase da Revolução Industrial, considerada uma etapa mais adiantada do processo da industrialização, uma fase de grande desenvolvimento tecnológico em que as pessoas começaram a usufruir da tecnologia no seu dia-a-dia, trazendo novos parâmetros produtivos, padronizando os produtos e os processos de fabricação, e contribuindo com o desenvolvimento tecnológico das indústrias. Este desenvolvimento logo se espalhou para outros países da Europa, Ásia e América, e foi considerado um período muito importante para o sistema capitalista. Chiavenato (2004) define esse momento como revolução do aço e da eletricidade. Essa revolução foi marcada por grandes inovações tecnológicas, como o surgimento do aço, que vem a substituir o ferro como matéria-prima básica das indústrias, bem como a produção de energia elétrica e de petróleo, que substituiu as máquinas a vapor por motores de combustão e elétricos, contribuindo com o avanço das tecnologias empregadas nas indústrias (PEINADO e GRAEMI, 2007).

Devido ao crescimento acelerado e desorganizado das empresas naquela

época, foi necessário desenvolver novas técnicas que contribuíssem com a eficiência produtiva. Segundo Chiavenato (2004), no fim do século XIX o americano Frederick Winslow Taylor e o europeu Henri Fayol desenvolveram as primeiras teorias relacionadas com a administração científica. Taylor trazia a ideia de satisfação aliada ao aumento da produtividade, alegando que isto resultaria em menor esforço físico e posteriormente na satisfação do funcionário, já Fayol dava ênfase à estrutura organizacional em busca da máxima eficiência.

Por volta de 1910, Henry Ford foi responsável pela grande inovação do século, desenvolvendo um novo sistema de produção e inovando a linha de montagem. Sua ideia era que o produto se deslocasse até os funcionários, e não os funcionários até o produto, realizando assim um trabalho mais organizado e, conseqüentemente, gerando maior produção com maior garantia de qualidade e menor custo possível (CHIAVENATO, 2004). Segundo Martins e Laugeni (2005), essa revolução no processo produtivo ficou conhecida como produção em massa, e tinha como principal objetivo a produção em grandes volumes seguindo uma padronização, ou seja, procurava assegurar a uniformidade das peças, o baixo custo da manufatura, a especialização da mão de obra e peças intercambiáveis.

Em 1916 o engenheiro francês Jules Henri Fayol publicou o seu livro *Administration Industrielle et Générale*, direcionado para a administração geral e industrial. Fayol salienta que toda empresa deve focar seus trabalhos em algumas funções básicas, como de técnicas referentes à produção da empresa, funções comerciais relacionadas a compras e vendas, funções financeiras associadas à gerência, funções de segurança relacionadas à prevenção e proteção de bens ou de pessoas, função contábil referente a registros industriais e funções administrativas, que estão relacionadas à coordenação de todas as funções anteriores (CHIAVENATO, 2004).

Alguns anos depois, por volta de 1920, surgiu na Europa um conjunto de técnicas manufatureiras denominado “Tecnologia de Grupo”, cujo objetivo era pesquisar as semelhanças de peças e de processos de fabricação, associando-as conforme o seu perfil. Essa tecnologia contribuiu muito com o processo produtivo, pois possibilitava que o custo de fabricação pudesse ser calculado com mais facilidade e permitia que informações relacionadas ao projeto chegasse a todos, ajudando a criar um melhor roteiro de fabricação (MARTINS; LAUGENI, 2005).

Durante a Segunda Guerra Mundial, por volta de 1940, surge na Inglaterra uma

nova técnica da administração científica chamada Pesquisa Operacional. Seu objetivo principal é o auxílio na tomada das decisões. Segundo Peinado e Graemi (2007), essa técnica buscou elaborar modelos matemáticos que ajudam o administrador a alcançar a solução ótima de determinados problemas como fluxos de produção, controle de qualidade, planejamento e controle de produção (PCP), transporte, estoque, eficiência, produtividade, pesquisa de mercado, prevenção de acidentes, entre outras soluções.

Por um longo período as empresas utilizaram o sistema de produção em massa por ser um método de produção de grandes volumes que acabava satisfazendo os empresários, mas tinha como defeito um grande índice de desperdício. Devido a esse problema surgiu, na década de 1950, no Japão, o Sistema Toyota de Produção, que tinha como principal objetivo o aumento da eficiência de produção, eliminando desperdícios e consequentemente elevando o lucro da empresa (TAIICHI OHNO, 1997).

A partir desse novo sistema de produção a empresa Toyota procurou eliminar o estoque caracterizado como desperdício, tanto como produção antes do tempo necessário, quanto produção maior que necessário. O *Just-in-Time* foi o principal pilar do sistema Toyota de produção, e trata-se de uma administração que determina que nada deve ser produzido, transportado ou comprado antes da hora. Tinha também como característica a multifuncionalidade da mão de obra: os funcionários passavam a conhecer diferentes processos e não apenas a sua tarefa sendo, portanto, um trabalhador mais completo se comparado ao trabalhador do sistema Fordista (CHIAVENATO, 2004).

Outra característica do *Just-in-Time*, segundo Martins e Laugeni (2005), era a personalização do cliente (pesquisa de mercado). A indústria passava a atender o que seu consumidor estava realmente procurando, visando a garantia total de seus produtos, adotando o controle visual em todas as etapas de produção como forma de acompanhar e controlar o processo produtivo acompanhado de um sistema flexível de mecanização. Isso conduz ao ajuste da produção de acordo com a demanda do mercado, conquistando assim o mercado mundial, sendo o sistema de administração base das indústrias mundiais.

Por meio do sistema *Just-in-Time*, a partir de 1960 surgiram novas técnicas produtivas, denominadas “produção enxuta” ou *Lean manufacturing*. A produção enxuta trata-se de uma filosofia de produção que tem como base a eliminação ou

redução sustentável do desperdício de produção não agregada aos valores do produto final. Baseia-se em estudos do tempo necessário para a produção, gerando um sequenciamento eficiente focado nos movimentos dos trabalhadores. Nesse sistema, a produção em grandes lotes foi eliminada, pois a regra da “produção enxuta” é eliminar ou reduzir o estoque, produzindo lotes pequenos ou médios com entrega rápida e manuseamento eficiente, conseqüentemente aumentando a produtividade (PEINADO; GRAEMI, 2007).

Em 1970, baseado no sistema Toyota de produção, surge um novo conceito produtivo chamado Célula de Produção. Corrêa (1996) menciona que as atividades realizadas por meio de células de produção eliminariam vários desperdícios, como de espera, de superprodução, de estoque, de movimentos e transportes, por meio de postos de trabalho com instrumentos de transporte e estoque entre elas, buscando a integração dos trabalhos realizados e a redução do tempo gasto.

A partir de 1980 surge uma nova técnica relacionada ao desenvolvimento de produtos chamada de Engenharia Simultânea, e sua principal finalidade é o crescimento integrado de produção, ressaltando o atendimento de todos os agentes envolvidos na produção industrial. Essa prática traz uma série de vantagens para as empresas, entre elas o melhoramento da qualidade devido ao envolvimento de mais pessoas no projeto, sendo as possibilidades de sucesso maiores graças a consultas realizadas com os possíveis clientes (MARTINS; LAUGENI, 2005).

Nessa mesma década surgiu a Teoria das Restrições, também denominada TOC (*Theory of Constraints*). Chiavenato (2004) define-a como uma metodologia de raciocínio e gerenciamento que auxilia na tomada de decisões organizacionais em que existem restrições, e tem como principal objetivo encontrar as limitações do ganho da empresa, bem como gerenciar com eficácia a utilização dessas restrições. Isto é, para melhorar e aumentar a eficiência deve-se descobrir e localizar as restrições e os gargalos no processo produtivo e corrigi-los adequadamente, a fim de aumentar a lucratividade das empresas e, com isso, obter maior qualidade dos seus produtos.

Com o pensamento voltado a dar mais atenção à qualidade dos produtos, em 1987 foram publicadas pela primeira vez as normas da ISO 9000, um conjunto de normas que estabelecem regras para as organizações de um sistema de qualidade, com o objetivo de estabelecer um conjunto normalizado de requisitos para o aperfeiçoamento do sistema de qualidade nas empresas. Outro objetivo da ISO 9000 é a certificação dos processos visando a garantia da qualidade dos produtos e

serviços determinados, garantindo assim um melhor atendimento e a satisfação aos clientes (PEINADO; GRAEMI, 2007).

Quadro 1 – Algumas teorias da Evolução Histórica da Administração da Produção

<b>Ano</b>	<b>Local</b>	<b>Teoria</b>	<b>Objetivo</b>
1910	Estados Unidos	Produção em Massa	Produção em grandes volumes, reduzindo custos.
1920	Europa	Tecnologia de Grupo	Pesquisar as semelhanças de peças e de processos de fabricação associando-as conforme o perfil de fabricação.
1940	Inglaterra	Pesquisa Operacional	Auxílio na tomada de decisões, ajudando o administrador a encontrar a solução ótima do problema.
1950	Japão	Sistema Toyota de Produção.	Aumento da eficiência de produção eliminando desperdícios.
1960	Japão	Produção Enxuta ou <i>Lean Manufacturing</i> .	Buscar a melhoria no processo de manufatura, redução de desperdício e estoque.
1970	Japão	Células de Produção	Eliminar desperdícios a partir de postos de trabalho com instrumentos de transporte e estoque entre elas, buscando a integração dos trabalhos realizados e a redução do tempo gasto.
1980	Início no Japão com posterior implantação nos EUA	Engenharia Simultânea	Crescimento integrado de produção ressaltando o atendimento de todos os agentes envolvidos na produção industrial

Fonte: Adaptado de Martins e Laugeni (2005), Peinado; Graemi (2007) e Taiichi Ohno (1997).

Os recentes modelos de administração da produção surgiram da mistura de práticas conceituadas do passado com a procura de novos métodos de administrar a produção. Pensando assim, as empresas vêm procurando, cada vez mais, novas técnicas para melhorar sua eficiência produtiva. Por isso os autores têm procurado, ao longo dos anos, novas formas de obter uma visão ampla da evolução, raciocínio e conteúdo da administração da produção, ocasionando novos ganhos para as organizações e para a sociedade.

Devido ao crescimento das empresas foi necessário desenvolver novas técnicas de organização com a intenção de gerar maior eficiência produtiva para as organizações, conseqüentemente gerando novos ganhos para as empresas, como redução do estoque e de custos, diminuição do desperdício (tanto de matéria-prima, quanto da mão de obra), aumento da produtividade, aumento de fluxo e do número

de produtos ofertado no mercado, sempre assegurando o nível de qualidade, uma das principais exigências dos consumidores da atualidade. Toda essa preocupação das empresas em buscar melhor eficiência produtiva é visível, pois a mesma é considerada um dos elementos fundamentais para a sobrevivência das organizações.

Uma das formas das empresas responderem a essa preocupação é buscando métodos que possam melhorar a eficiência produtiva. A Pesquisa Operacional pode contribuir muito nesse processo, por se tratar de uma ciência que vem sendo muito utilizada pelas organizações na tomada de decisões administrativas, determinando, assim, relevante melhoria na utilização de recursos.

## 2.2 Eficiência e Eficácia Produtiva

Eficiência é a virtude ou característica (que pode ser atribuída a uma pessoa, máquina, técnica ou empreendimento) de conseguir o melhor rendimento com o mínimo de erros, dispêndio de energia, tempo, dinheiro ou meios (HOUAISS, 2001).

Existem diversos tipos de eficiência, aplicáveis a diferentes áreas do conhecimento. Na termodinâmica, o conceito de eficiência é dado como sendo a relação entre o trabalho realizado por um sistema (uma máquina, por exemplo) e a energia total fornecida a esse sistema. Como, por definição, o trabalho realizado por um sistema é sempre menor que a energia fornecida a esse sistema (devido às perdas), a eficiência será sempre um valor entre 0 e 1, podendo também ser expresso em porcentagem, isto é, de 0 a 100%. Esse tipo de eficiência é conhecido como eficiência energética, visto que se refere a um sistema energético. Já nas engenharias ou na administração, que são o foco desse trabalho, a eficiência se refere a outro tipo de sistema denominado sistema produtivo. Estes, por sua vez, são caracterizados por produzirem um conjunto de saídas a partir de um conjunto de entradas. A eficiência de um sistema produtivo, chamada de eficiência produtiva, se refere à relação entre os *outputs* (saídas) e *inputs* (entradas) produzidos e utilizados por esse sistema (MARIANO, 2007).

Segundo MARIANO (2007, p. 2):

“A eficiência produtiva frequentemente se confunde com o conceito de produtividade, que nada mais é do que um indicador da eficiência de um sistema produtivo. Assim, quanto maior a produtividade de um sistema, mais eficiente ele será. A grande diferença entre eficiência e produtividade é que a

produtividade é um índice que agrega diferentes unidades de medida e que pode assumir qualquer valor real, enquanto a eficiência é sempre um valor adimensional entre 0 e 1. Por exemplo, uma empresa que produz cinco cadeiras em duas horas, terá uma produtividade de 2,5 cadeiras por hora. Essa não será sua eficiência, mas quanto maior for sua produtividade, mais eficiente essa empresa será. Além dos conceitos de produtividade e eficiência, outro conceito que suscita muitas dúvidas é o conceito de eficácia”.

Conforme Kassai (2002), “a eficácia está relacionada ao cumprimento de objetivos traçados; quanto mais perto um sistema chega de uma meta traçada, mais eficaz ele é”.

De acordo com Martins e Laugeni (2005), a eficácia de uma decisão é proporcional à proximidade dos resultados obtidos a partir dos objetivos estabelecidos. A eficácia está relacionada ao conceito de fazer a coisa certa, enquanto a eficiência está associada à melhor forma de fazer a coisa certa. Eficácia é a qualidade ou característica de quem consegue chegar realmente a consecução de um objetivo.

Segundo Mello (2005), a eficácia compreende o que foi obtido como resultado, mas não se preocupa com os recursos utilizados.

Conforme ainda Mello *et al.* (2005, p. 1):

[...] um cursinho pré-vestibular pretende que seus alunos ocupem 50% das vagas de um determinado curso que oferece 20 vagas. Se este mesmo cursinho consegue aprovar 15 alunos, pode-se dizer que ele foi altamente eficaz. No entanto, não se pode dizer que ele foi eficiente, já que não são conhecidos, entre outras coisas, qual o perfil do aluno inscrito, quantos professores trabalhavam, quantas horas de aula por semana eram dadas ou quê recursos audiovisuais estavam à disposição.

Pensando no aumento da eficiência e eficácia dos sistemas produtivos, no século XX foi sendo aperfeiçoada nos países de primeiro mundo uma área científica denominada Pesquisa Operacional (RAUPP e GIBBON, 2001).

Conforme Raupp e Gibbon (2001), “a área industrial foi um dos setores que mais evoluiu com essas mudanças, exigindo cada vez mais dos seus gestores aumento da eficiência dos sistemas de produção”. O próximo tópico abordará conceitos da Pesquisa Operacional, mostrando alguns exemplos de aplicação dessa técnica.

## 2.3 Pesquisa Operacional

Desde a Revolução Industrial presencia-se um grande crescimento das organizações, onde pequenas oficinas se transformaram em enormes potências industriais, conseqüentemente trazendo novos problemas relacionados à administração da produção. Uma importante ciência voltada para soluções desses problemas a partir de modelos matemáticos é a Pesquisa Operacional (PO), cuja ideia principal é estabelecer o melhor plano para utilização dos recursos disponíveis que na maioria das vezes são limitados (ANDRADE, 2011).

A PO surgiu durante a Segunda Guerra Mundial, quando equipes de cientistas motivados pelo objetivo de criar estratégias na tentativa de solucionar problemas de operações militares criaram os primeiros modelos de programação matemática. Devido ao seu desempenho, essa técnica passou a ser aplicada por acadêmicos e empresários em problemas administrativos, pois trata-se de um método que facilita muito o processo de decisão (ANDRADE, 2011; SILVA *et al.*, 1998).

Arenales *et al.* (2007) definem PO como uma ciência que procura elaborar métodos científicos por meio de ferramentas quantitativas, de modo a dar suporte na tomada de decisões para solucionar determinados problemas. Também está relacionado a princípios e métodos de modelagem de problemas de decisão com auxílio de técnicas e modelos matemáticos. Como o próprio nome descreve, a PO está ligada a pesquisas sobre operações, e é aplicada por organizações na tentativa de atingir e compreender problemas, conduzindo-as a uma melhor administração das atividades (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

Uma importante ferramenta matemática para solucionar problemas de PO é a Programação Linear, a qual consiste em um processo iterativo, envolvendo inversões sucessivas de matrizes, sendo assim uma técnica possível de ser computacionalmente programada (SILVA *et al.*, 1998). Andrade (2011) comenta que a Programação Linear se trata de uma técnica muito utilizada como instrumento da administração, proporcionando um vasto apoio na tomada de decisões, permitindo respostas a problemas relacionados à quantidade ideal para se obter maior lucro e maneiras de minimizar despesas e maximizar a eficiência.

Para que seja resolvido um problema de programação linear, este deve ser modelado definindo qual o objetivo do problema, se é maximizar lucros, ou minimizar

custos ou desperdícios, por exemplo (ANDRADE, 2011). Silva *et al.* (1998) propõem seguir um caminho em três elementos básicos para a construção de modelos matemáticos com objetivo de ordenar o raciocínio. O primeiro elemento está relacionado às variáveis de decisão, para as quais devem ser apresentadas as possíveis decisões a serem tomadas. O segundo compreende o objetivo do problema, para quê são relatados e identificados os motivos da tomada de decisão — nesse elemento o objetivo sempre será voltado a calcular o valor (lucro, custo, receita, perda, etc.). O terceiro elemento apresenta as restrições, que caracterizam as limitações do problema.

Para Andrade (2011), tomar uma decisão com alta grandeza de qualidade não é uma tarefa tão fácil quanto parece. Muitas vezes decisões aparentemente inapropriadas para algumas pessoas hoje podem se tornar decisões bem-sucedidas no futuro. Assim, pode-se afirmar que uma decisão com alta qualidade é quando se assegura a realização dos propósitos predeterminados, de modo a atender sua real necessidade.

A PO é utilizada nas mais diversas áreas, como, por exemplo, em problemas de misturas, transporte, fluxo em redes, dimensionamento e sequenciamento da produção, cortes multidimensionais, entre outros (ARENALES *et al.* 2007; CAIXETA-FILHO, 2001; GOLDBARG e LUNA, 2005). Uma breve descrição sobre cada uma dessas categorias de problemas é apresentada a seguir.

### 2.3.1 Algumas Categorias de Problemas Abordados pela PO

Neste tópico são elencadas algumas importantes categorias de problemas abordados na área da PO.

#### 2.3.1.1 Problemas de misturas

São problemas cujo objetivo fundamenta-se em encontrar o correto arranjo de insumos que venham a atender às exigências, buscando minimizar custos de produção. Uma aplicação deste tipo de problema na fabricação de rações pode ser vista em Ulbricht (2012), que busca encontrar a melhor combinação possível de ingredientes (ex: milho, farelo de soja, etc.), de modo a produzir um tipo específico de

ração que venha a atender aos padrões mínimos e máximos de nutrientes, buscando reduzir o custo de produção.

Outra aplicação de um problema de mistura pode ser encontrada em indústrias especializadas na produção de ligas metálicas, onde diversos tipos de aço são fabricados a partir da mistura de vários elementos, cada qual possui uma composição química diferente (quantidades de carbono, silício e manganês, etc.). Cada composição de uma liga metálica é obtida com base em normas técnicas da metalurgia e o preço de cada elemento pode variar consideravelmente, surgindo a necessidade de definir as quantidades de cada elemento a ser fundido, satisfazendo as normas técnicas e com o menor preço final possível (ARENALES *et al.*, 2007).

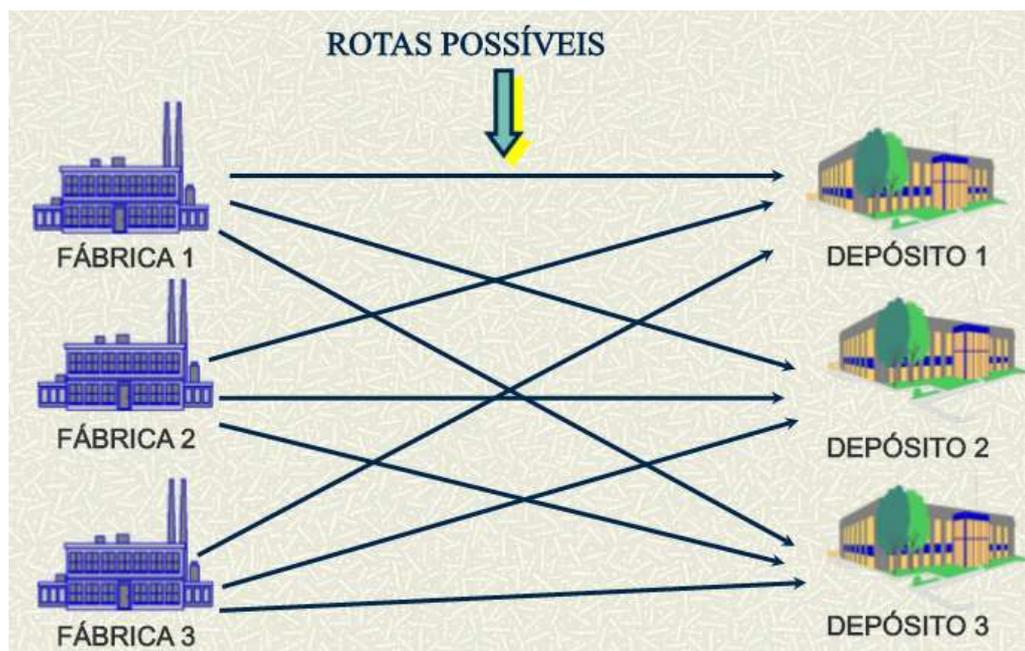
Diversas outras aplicações são possíveis de serem implementadas considerando problemas de misturas. Na indústria alimentícia, por exemplo, na produção de complementos alimentares, pode ser de interesse adequar as formulações para atender requisitos nutricionais com menor custo possível. Aplicações podem ser vistas ainda na indústria química ou de medicamentos.

### 2.3.1.2 Problemas de transporte

Um dos problemas mais comuns nas organizações, quando se fala em administração de empresas, é o problema de transporte. A Pesquisa Operacional tem um papel fundamental no planejamento logístico de produtos dos mais variados possíveis. Para Hillier e Lieberman (2013), essa denominação surgiu em virtude de muitas de suas aplicações estarem envolvidas de uma maneira otimizada ao transportar produtos, minimizando custos e respeitando as necessidades do recebimento, do destino e da capacidade de envio da fonte.

Andrade (2009), menciona que esses problemas têm como principal objetivo estabelecer um plano de transporte de  $m$  origens para  $n$  destinos, como mostra a Figura 1.

Figura 1 – Problema de Transporte



Fonte: Andrade, 2009.

A Figura 1 mostra um problema típico de transporte, em que certos produtos devem ser transportados de um determinado número de origens (fábricas), até um determinado número de destinos (depósitos). Com isso, há a necessidade de projetar o máximo de rotas possíveis a fim de minimizar custos de transporte, conseqüentemente diminuindo possíveis acréscimos no custo final do produto e, ao mesmo tempo, satisfazendo os limites de fornecimento e demanda.

### 2.3.1.3 Problemas de fluxo em redes

Segundo Hillier e Lieberman (2013), um dos principais progressos dentro da Pesquisa Operacional nos últimos anos está relacionado a aplicações de modelos de otimização de fluxo de redes, cujos problemas podem aparecer em diversos ambientes distintos, como no transporte, no setor elétrico e de comunicações, ou ligados às áreas de produção, distribuição, planejamento de projetos, administração de recursos, posicionamento de instalações e planejamento financeiro.

Os problemas de fluxo em redes também são conhecidos como otimização em redes ou fluxo de redes, e tem como principal objetivo descobrir o modo mais eficiente,

organizado e econômico na distribuição de produtos originados em pontos de oferta (fornecedores). Essa distribuição eficiente liga várias localidades, direta ou indiretamente, a vários pontos de demanda (consumidores) por meio de redes de interligações, buscando um caminho mais curto e sincronizando os recursos disponíveis entre a produção e os consumidores, de modo a minimizar custos e maximizar fluxos. Dessa forma, o processo procura satisfazer a demanda de uma rede, obedecendo a algumas restrições de custos e capacidades (TAHA, 2008).

#### 2.3.1.4 Problemas de produção

Os problemas de produção podem ser voltados tanto para as quantidades a serem produzidas, quanto para o dimensionamento e sequenciamento de lotes. Nos problemas envolvendo quantidades, procura-se utilizar ao máximo os recursos disponíveis para produzir com mínimo custo (ou máximo lucro), procurando atender às demandas disponíveis.

Por outro lado, problemas de sequenciamento e dimensionamento de lotes são voltados ao estabelecimento de sequências em que lotes são processados, de modo a reduzir custos com *setup* de máquinas, bem como custos de estocagem, por exemplo.

O planejamento e a programação da produção exercem um papel fundamental para o bom funcionamento de uma empresa, pois envolvem uma grande quantidade de informações que podem ser úteis no processo produtivo (ARENALLES *et al.*, 2007; GOLDBARG; LUNA, 2005).

Arenales *et al.* (2007) também comentam a importância das entidades darem atenção especial aos três níveis relevantes no que tange ao planejamento empresarial, sendo o nível estratégico, tático e operacional. O nível estratégico trata de parâmetros relacionados com o projeto do processo, o nível tático aborda o planejamento das atividades e quantidades dentro de uma empresa, e o nível operacional busca controlar as atividades realizadas diariamente ou semanalmente desde o início até o término do procedimento de cada função.

### 2.3.1.5 Problemas de cortes multidimensionais

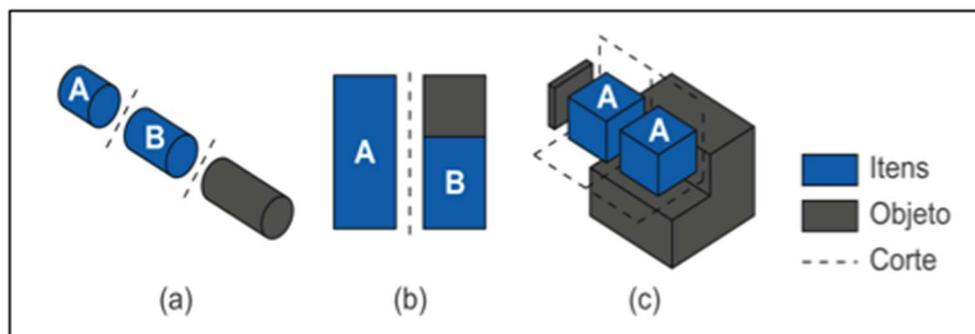
Uma importante área de aplicação da PO são os problemas de cortes, cujo objetivo principal consiste em estabelecer planos de corte de modo a atender às demandas estabelecidas pela indústria com o menor desperdício possível de matéria-prima, o que traz como consequência direta a redução nos custos de produção, bem como contribuições relacionadas às questões ambientais (ARENALES *et al.*, 2007).

Conforme HOFFMANN *et al.* (2015), “os problemas de corte são classificados de acordo com as dimensões importantes para o processo e, em resumo, podem ser unidimensionais, bidimensionais ou tridimensionais”.

Cortes unidimensionais são aqueles que consideram apenas o desperdício em uma dimensão: comprimento, por exemplo. São aplicados em cortes de barras, bobinas, tubos metálicos, madeira, entre outros. Nos problemas de cortes bidimensionais foca-se na redução das perdas envolvendo duas dimensões: comprimento e largura, por exemplo. São aplicados em cortes de chapas, cortes de tecidos, entre outros. Já cortes tridimensionais envolvem as dimensões comprimento, largura e altura, como, por exemplo, cortes de peças a partir de blocos.

A Figura 2 mostra as três dimensões que podem ser consideradas em problemas de cortes, onde (a) ilustra cortes unidimensionais, (b) bidimensionais, e (c) tridimensionais.

Figura 2 – Dimensões em Problemas de Corte



Fonte: HOFFMANN *et al.* (2015)

O problema de corte consiste em estratégias na manufatura de seus produtos, transformando peças de tamanhos grandes padronizados em peças menores de tamanhos diversificados, conforme solicitação do cliente. Esse procedimento de

transformação gera muitas perdas de matéria-prima devido às sobras não reaproveitáveis, com isso a aplicação da Pesquisa Operacional e suas ferramentas são fundamentais para otimização desse processo, de modo que a perda de matéria prima seja a mínima possível (ARENALES *et al.*, 2007).

Trabalhos recentes na área da programação de cortes têm sido aplicados no ambiente industrial. Uma importante aplicação desta classe de problemas é encontrada em Loeblein *et al.* (2012). Neste trabalho os autores propõem um modelo voltado ao corte de tubos descritos com 28 padrões de cortes distintos, para o qual o modelo matemático foi implementado com a utilização de planilhas usando a ferramenta Solver. Os resultados foram aplicados em uma empresa fabricante de máquinas agrícolas e mostrou a viabilidade da implantação da Pesquisa Operacional na empresa.

Silveira *et al.* (2013) destacaram, em seu trabalho, a aplicação da Pesquisa Operacional em uma indústria metalmeccânica, com objetivo de otimizar uma operação de corte de barras de aço. Foram criadas 137 combinações de corte. A ferramenta Solver, instalada em uma planilha eletrônica, foi utilizada para a resolução dos modelos, atendendo a demanda necessária e minimizando o desperdício de materiais.

Silveira Júnior, Pinheiro e Thomaz (2004) realizaram um trabalho em uma indústria metalmeccânica direcionado a um problema de corte guilhotinado para bobinas de aço, para o qual apresentaram modelos matemáticos afim de minimizar perdas. Tais problemas foram resolvidos com auxílio do software LINDO.

Oliveira, Salvador e Silva (2013) realizaram um estudo em uma indústria papelreira, com o objetivo de minimizar a quantidade de resíduos gerados pelo processo de corte de bobinas de papel, e encontraram uma solução ótima para o problema.

Os problemas de cortes unidimensionais podem ser aplicados em diversas áreas industriais, como, por exemplo, no corte de fios, de eletrodutos, de barras e de bobinas.

De modo geral, todos os problemas que envolvem cortes necessitam de ferramentas que realizem esse processo. Além dos desperdícios que podem ser gerados pelas sobras de material (fragmentos não utilizados), há também o desperdício ocasionado pela serra, na operação de serramento que pode variar conforme o tipo de máquina a ser utilizado. O tópico a seguir menciona alguns destes

tipos de máquinas, bem como suas funcionalidades.

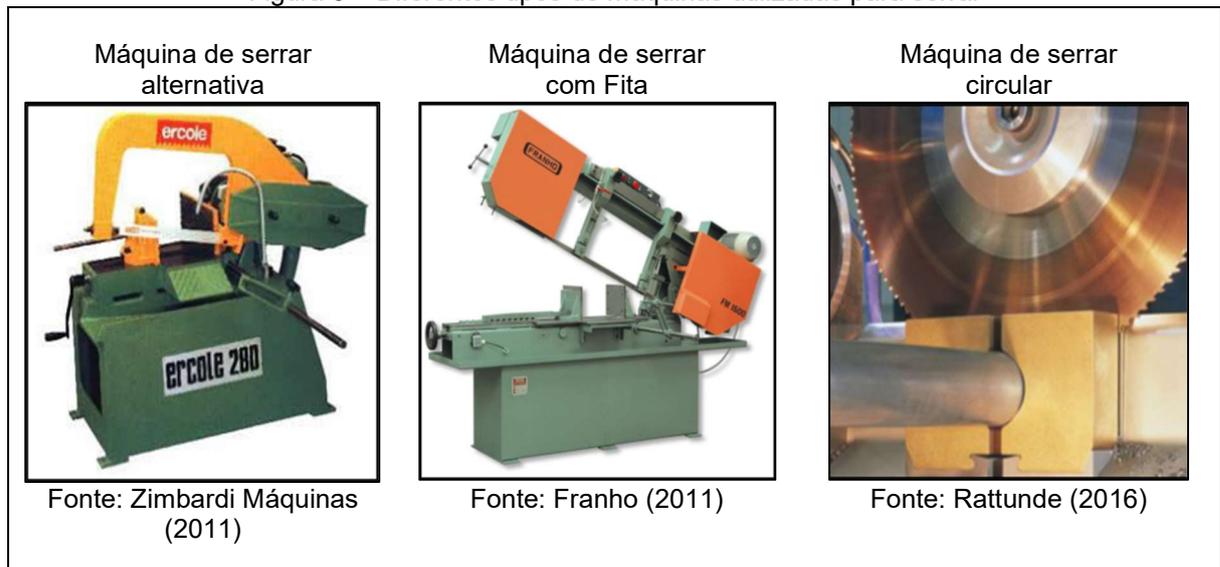
## 2.4 Operação de Serramento

O serramento é uma operação de usinagem, sendo esta responsável pelo corte dos materiais

Conforme Moreira (2011), “Os tipos mais comuns de serramento para o corte de metais são aqueles realizados com serras alternativas, serras de fita ou com serras circulares”.

Na Figura 3 são mostrados exemplos de serras, sendo respectivamente uma máquina de serrar alternativa, também chamada de serra de arco (Figura 3a), uma máquina de serrar com serra de fita (Figura 3b) e uma máquina de serrar com serra circular (Figura 3c).

Figura 3 – Diferentes tipos de máquinas utilizadas para serrar



No capítulo 3 será descrita a metodologia do trabalho, abordando o problema a ser resolvido, bem como os métodos de resolução a serem utilizados.

### **3 METODOLOGIA**

Neste capítulo será abordada a metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho. É composta por etapas que vão desde a identificação do problema até os testes comparativos aplicados a partir de dados simulados com base nos parâmetros utilizados na indústria.

#### **3.1 Identificação do problema**

A partir de experiências no ambiente de trabalho industrial, foi constatado que durante o processo de corte de barras que são utilizadas como matéria-prima para a fabricação de triângulo musicais, ocorria desperdício de material, sendo este ocasionado tanto pelas sobras de ponteiros das barras consideradas refugos, quanto pelo processo de corte ocasionado pela serra.

Nessa etapa, foi identificada a real perda de material, contabilizada como sendo entre 4% e 6% da matéria-prima.

Por meio de uma pesquisa bibliográfica foram identificados trabalhos que tratavam de uma problemática semelhante, cujas técnicas da Pesquisa Operacional apresentaram resultados promissores. Sendo assim, este trabalho teve como foco a implementação dessas técnicas, de modo a posteriormente comparar resultados encontrados com os atuais praticados na empresa.

Após identificado o problema partiu-se para a definição do modelo matemático, conforme abordado a seguir.

#### **3.2 Modelagem do problema**

Esta fase é composta pelos estudos e compreensão do problema e a definição de um modelo matemático que possa retratar seu funcionamento. É uma fase que requer bastante atenção, pois os resultados a serem obtidos dependem da correta

modelagem do problema.

O modelo matemático a ser utilizado considerará como base modelos já existentes na literatura apresentados em Arenales *et al.* (2007), Caixeta-Filho (2001) e Andrade (2011). Todavia, além do desperdício das ponteiros geradas este trabalho trata também das perdas ocasionadas pelo número de cortes existentes em cada barra e que são inevitáveis na operação de serramento. Esta característica acaba por acrescentar um aspecto diferenciado aos modelos já existentes na literatura pesquisada.

### **3.3 Método de Resolução**

Após definido o modelo matemático, parte-se para a metodologia de resolução. Buscando trabalhar com *softwares* acessíveis, será utilizada como ferramenta de programação do modelo matemático uma planilha de cálculo e como ambiente de execução o suplemento Solver, disponível em planilhas do Microsoft Excel, bem como do aplicativo Libre Office Calc.

Essa abordagem permite a execução em computadores pessoais sem a necessidade de instalação ou compra de pacotes computacionais avançados e que podem ter alto custo financeiro.

### **3.4 Testes comparativos aplicados na indústria**

Para a resolução do cenário escolhido, baseado em uma demanda real, serão feitos comparativos entre os desperdícios obtidos na indústria com a utilização (ou não) do modelo de otimização proposto neste trabalho.

## 4 MODELAGEM MATEMÁTICA E COMPUTACIONAL DO PROBLEMA

Buscando implementar o problema de cortes em um caso prático, foi realizado um estudo de caso numa empresa fabricante de instrumentos musicais, no processo de fabricação de triângulos de várias medidas, sendo que todos eles utilizam um mesmo tipo de material. Nos tópicos a seguir será descrito o processo de modelagem do problema.

### 4.1 Características da matéria-prima e dos produtos a serem fabricados

O material utilizado para todos os modelos de triângulos fabricados consiste em barras de aço de 8 mm de diâmetro por 6000 mm de comprimento.

O processo fabril da empresa compreende 4 diferentes tipos de triângulos, conforme mostrado na Figura 4.



Cada um dos modelos de triângulos produzidos utiliza um comprimento linear de barra de aço, e cada um dos comprimentos cortados é dobrado convenientemente, formando o triângulo. As medidas utilizadas antes do processo de dobragem são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 - Medidas a serem cortadas

<b>Modelo</b>	<b>Comprimento total (mm)</b>
Tr 30	863
Tr 25	705
Tr 20	555
Tr 15	402

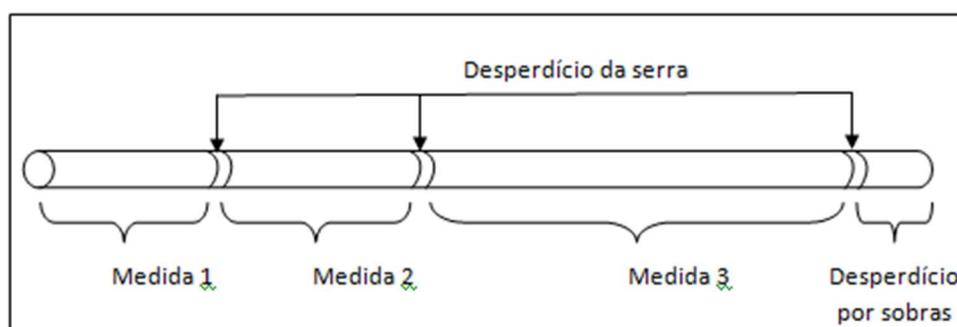
Fonte: O autor (2017)

De modo a atender as demandas estabelecidas, pois ocorriam muitas perdas de matéria-prima na empresa, foi verificada a necessidade de se estabelecer um modelo matemático que contribuísse para a redução destas perdas.

O desperdício de matéria-prima é formado por dois tipos de perda: a primeira delas se dá pela não utilização de pedaços de barras que não alcançam as medidas desejadas; o segundo tipo de perda é ocasionado pela largura da serra que faz os cortes.

A Figura 5 mostra os dois tipos de perda no processo de cortes.

Figura 5 – Desperdícios no processo de cortes



Fonte: O autor (2017)

A forma de cortar uma barra é chamada de padrão de corte. No tópico a seguir são apresentados os padrões de cortes a serem considerados para a resolução do problema.

## 4.2 Padrões de Corte

O processo de corte dos 4 tipos de triângulos ocorre por meio de uma serra

cujo desperdício gerado pelo corte é de 2,5 mm. Considerando que todas as barras de aço possuem a medida de 6000 mm, as perdas ocorrem, conforme já mencionado, tanto pela sobra de matéria-prima, quanto pela remoção de material ocasionado pela serra.

O trabalho de busca dos padrões de corte foi realizado com auxílio de uma planilha eletrônica, onde ao total, foram encontrados 160 diferentes padrões.

Na Tabela 2 são apresentados alguns exemplos dos padrões encontrados, bem como os respectivos desperdícios.

Tabela 2 - Exemplos de padrões de cortes

<b>Medida</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>...</b>	<b>P158</b>	<b>P159</b>	<b>P160</b>
863 mm	6	6	6	5	5	...	0	0	0
705 mm	1	0	0	2	1	...	0	0	0
555 mm	0	0	1	0	1	...	2	1	0
402 mm	0	1	0	0	1	...	12	13	14
Soma	5883	5580	5733	5725	5977	...	5934	5781	5628
Desperdício de cortes	117	420	267	275	23	...	66	219	372
Desperdício da serra	17,5	17,5	17,5	17,5	20	...	35	35	35
Sobra de material	99,50	402,50	249,50	257,50	3,00	...	31,00	184,00	337,00

Fonte: O autor (2017)

Observando a Tabela 2 e exemplificando por meio do padrão P1, verifica-se que, neste caso, deverão ser cortadas 6 peças de 863 mm e 1 peça de 705 mm, totalizando 5883 mm ( $6 \times 863 \text{ mm} + 1 \times 705 \text{ mm} = 5883 \text{ mm}$ ). Como a barra possui medida padrão de 6000 mm, ocorreria desperdício de 117mm ( $6000 \text{ mm} - 5883 \text{ mm} = 117 \text{ mm}$ ). Nota-se ainda, neste caso, que ao total serão produzidas 7 peças (6 peças de 863 mm e 1 peça de 705 mm), ou seja, serão executados 7 cortes de serra. Para executar cada corte ocorre desperdício de 2,5mm, ocasionado pela espessura da serra, o que gera um desperdício de 17,5 mm ( $7 \times 2,5 \text{ mm} = 17,5 \text{ mm}$ ).

O desperdício de material, que será minimizado na função objetivo do modelo matemático, corresponde ao desperdício ocasionado pelos cortes, menos o desperdício da espessura da serra ( $117 \text{ mm} - 17,5 \text{ mm}$ ), pois pretende-se minimizar as sobras de matéria-prima (ponteiras).

Além do desperdício pela sobra de material em cada padrão de corte, no modelo matemático, foi considerado o desperdício ocasionado pela espessura da serra quando esta efetua o corte de cada peça. Esse tipo de desperdício sempre ocorrerá, porém pode ser reduzido, de modo que, quanto menor a quantidade de cortes em cada barra, menos desperdício haverá. Por exemplo, no padrão de corte P1 ocorrerão 7 cortes, de forma que estes somarão um desperdício de 17,5 mm de perdas, sendo produzidas 6 peças de 863 mm cada e uma peça de 705mm. Já no padrão de corte P160 ocorrerão 14 cortes, totalizando um desperdício de 35 mm de material e serão produzidas 14 peças de 402 mm cada.

No tópico a seguir é apresentado o modelo matemático de programação linear para o problema apresentado.

### 4.3 Modelo Matemático

Para a formulação do modelo matemático foram estabelecidas demandas para cada um dos itens, conforme dados fornecidos pela empresa. Na Tabela 3 são apresentadas as demandas para cada um dos 4 tipos de triângulos, para atender a um pedido específico, de clientes.

Tabela 3 - Demandas mensais para cada um dos 4 tipos de triângulos

<b>Modelo</b>	<b>Demanda (unidades)</b>
Tr 30	1000
Tr 25	1500
Tr 20	800
Tr 15	800

Fonte: O autor (2017)

Na formulação do modelo foi considerada a existência de estoques, prática comum na empresa, de modo a vir a atender pedidos extras. Sendo assim, optou-se por utilizar, no máximo, 10% do valor da demanda.

A Figura 6, a seguir, mostra a planilha responsável pelo cálculo dos desperdícios em cada padrão. Nesta planilha, as quantidades para cada comprimento são inseridas manualmente.

Figura 6 – Planilha para Cálculo dos Desperdícios

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Objeto								
2	Ref.	Comprimento (mm)	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
3	Tr 30	863	6	6	6	5	5	5	5
4	Tr 25	705	1			2	1	1	
5	Tr 20	555			1		1		
6	Tr 15	402		1			1	2	4
7	Largura Serra	Soma	5883	5580	5733	5725	5977	5824	5923
8		Desperdício cortes	117	420	267	275	23	176	77
9	2,5	Desperdício Serra	17,5	17,5	17,5	17,5	20	20	22,5
10		<b>Padrão Válido se: Desperdício cortes - Desperdício serra &lt; (402 + 2,5)</b>	Padrão Válido						
11	→	<b>Desperdício de Material: (Desperdício cortes - Desperdício serra)</b>	<b>39,50</b>	<b>402,50</b>	<b>249,50</b>	<b>257,50</b>	<b>3,00</b>	<b>156,00</b>	<b>54,50</b>
12									

Fonte: O autor (2017)

Observando a Figura 8, nota-se que o padrão deve ser classificado como “Padrão Válido”. Para ser válido, o desperdício de cortes menos o desperdício da serra deverá ser menor que o tamanho da menor peça (nesta aplicação, 402 mm), somado à espessura de serra para um novo corte (nesta aplicação, 2,5mm), o que totaliza 404,5 mm. Caso isso não ocorra, o padrão não será válido, pois seria possível fabricar pelo menos uma unidade da peça de menor medida, o que causaria alterações nas quantidades das peças produzidas e, portanto, um novo padrão de corte.

A seguir é apresentado o modelo matemático para o problema.

a) Objetivo do modelo: minimizar o desperdício de matéria-prima (barras de aço).

b) Variáveis de decisão:

$P_j$ : Quantidade a ser produzida do padrão de corte  $j$  ( $j = 1, \dots, 160$ ).

c) Modelo:

$$\text{Minimizar } 99,5P_1 + 402,5P_2 + 249,5P_3 + 257,5P_4 + 3,0P_5 + \dots + 337,0P_{160} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\text{Qtde\_Min\_863mm) } 6P_1 + 6P_2 + 6P_3 + 5P_4 + 5P_5 + \dots + 0P_{160} \geq 1000 \quad (2)$$

$$\text{Qtde\_Máx\_863mm) } 6P_1 + 6P_2 + 6P_3 + 5P_4 + 5P_5 + \dots + 0P_{160} \leq 1100 \quad (3)$$

$$\text{Qtde\_Min\_705mm) } 1P_1 + 0P_2 + 0P_3 + 2P_4 + 1P_5 + \dots + 0P_{160} \geq 1500 \quad (4)$$

$$\text{Qtde\_Máx\_705mm) } 1P_1 + 0P_2 + 0P_3 + 2P_4 + 1P_5 + \dots + 0P_{160} \leq 1650 \quad (5)$$

$$\text{Qtde\_Min\_555mm) } 0P_1 + 0P_2 + 1P_3 + 0P_4 + 1P_5 + \dots + 0P_{160} \geq 800 \quad (6)$$

$$\text{Qtde\_Máx\_555mm) } 0P_1 + 0P_2 + 1P_3 + 0P_4 + 1P_5 + \dots + 0P_{160} \leq 880 \quad (7)$$

$$\text{Qtde\_Min\_402mm) } 0P_1 + 1P_2 + 0P_3 + 0P_4 + 1P_5 + \dots + 14P_{160} \geq 800 \quad (8)$$

$$\text{Qtde\_Máx\_402mm) } 0P_1 + 1P_2 + 0P_3 + 0P_4 + 1P_5 + \dots + 14P_{160} \leq 880 \quad (9)$$

$$P_1, P_2, P_3, \dots, P_{160} \in \mathbb{Z}_+ \quad (10)$$

A expressão (1) é a função objetivo do modelo. Por meio dessa expressão busca-se minimizar os desperdícios. Cada coeficiente das variáveis  $P_j$  representa o desperdício de material para o padrão  $j$ . Desta forma, busca-se minimizar a soma de todos esses desperdícios.

As expressões (2) a (9) são chamadas de restrições técnicas do modelo. A restrição (2) representa as quantidades geradas das peças com medida de 863 mm. Cada coeficiente da variável  $P_j$  correspondente representa a quantidade gerada de peças dessa medida (863 mm) quando o padrão  $P_j$  é executado. A soma dessas quantidades deve ser maior ou igual à demanda (1000 unidades).

De modo semelhante, a restrição (3) representa as quantidades geradas das peças com medida de 863 mm onde cada coeficiente da variável  $P_j$  correspondente representa a quantidade gerada de peças dessa medida (863 mm) quando o padrão  $P_j$  é executado. Neste caso, a soma dessas quantidades deve ser menor ou igual a 1100 unidades, o que corresponde à demanda (1000 unidades), mais um estoque de 100 unidades, que equivale a 10% desta demanda.

As restrições (4) a (9) possuem interpretação semelhante.

A restrição (10) menciona que as variáveis  $P_j$  somente podem receber valores inteiros positivos, pois correspondem à quantidade que vai ser executada de cada padrão  $j$ .

No tópico a seguir será abordada a resolução do modelo matemático acima mencionado.

#### 4.4 Resolução do Modelo Matemático

O modelo matemático foi resolvido com a utilização do suplemento Solver, que pode ser instalado em uma planilha eletrônica (exemplo: Microsoft Excel ou LibreOffice Calc). Na Figura 7, é mostrada a planilha com as células destinadas aos resultados obtidos para as variáveis correspondentes às quantidades a serem executadas de cada padrão de corte  $P_j$  ( $j = 1, \dots, 160$ ), bem como para o valor da função objetivo, que corresponde à soma de todos os desperdícios de material.

Figura 7 – Planilha parcial, antes da execução do Solver

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Objeto								
2	Ref.	Comprimento (mm)	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
3	Tr 30	863	6	6	6	5	5	5	5
4	Tr 25	705	1			2	1	1	
5	Tr 20	555			1		1		
6	Tr 15	402		1			1	2	4
7	Largura Serra	Soma	5883	5580	5733	5725	5977	5824	5923
8		Desperdício cortes	117	420	267	275	23	176	77
9	2,5	Desperdício Serra	17,5	17,5	17,5	17,5	20	20	22,5
10		<b>Padrão Válido se: Desperdício cortes - Desperdício serra &lt; (402 + 2,5)</b>	Padrão Válido						
11	→	<b>Desperdício de Material: (Desperdício cortes - Desperdício serra)</b>	<b>39,50</b>	<b>402,50</b>	<b>249,50</b>	<b>257,50</b>	<b>3,00</b>	<b>156,00</b>	<b>54,50</b>
12									
13		Função objetivo (total de desperdícios de Material):							0
14									
15		Tipo de Padrão (Pj):	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
16		Quantidade:							
17									
18		Restrições:							
19		Comprimento (mm)		Demanda		Comprimento (mm)		Demanda	
20		Mínimo de 863mm	0	1000		Máximo de 863mm	0	1100	
21		Mínimo de 705mm	0	1500		Máximo de 705mm	0	1750	
22		Mínimo de 555mm	0	800		Máximo de 555mm	0	880	
23		Mínimo de 402mm	0	800		Máximo de 402mm	0	880	
24									

Fonte: O autor (2017)



Figura 9 – Preenchimento da Janela Solver - Excel

Parâmetros do Solver

Definir Objetivo:

Para:  Máx.  Min.  Valor de:

Alterando Células Variáveis:

Sujeito às Restrições:

- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 

Tornar Variáveis Irrestritas Não Negativas

Selecionar um Método de Solução:

Método de Solução

Selecione o mecanismo GRG Não Linear para Problemas do Solver suaves e não lineares.  
 Selecione o mecanismo LP Simplex para Problemas do Solver lineares. Selecione o mecanismo Evolutionary para problemas do Solver não suaves.

Ajuda  Fechar

Fonte: O autor (2017)

O modelo foi resolvido utilizando a ferramenta Solver, a qual forneceu as quantidades a serem realizadas de cada padrão de corte, conforme mostrado nas Figuras 10 e 11, o que corresponde à solução ótima do problema.

Figura 10 – Planilha com resultados após a execução do Solver.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Objeto								
2	Ref.	Comprimento (mm)	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
3	Tr 30	863	6	6	6	5	5	5	5
4	Tr 25	705	1			2	1	1	
5	Tr 20	555			1		1		
6	Tr 15	402		1			1	2	4
7	Largura Serra	Soma	5883	5580	5733	5725	5977	5824	5923
8		Desperdício cortes	117	420	267	275	23	176	77
9	2,5	Desperdício Serra	17,5	17,5	17,5	17,5	20	20	22,5
10		<b>Padrão Válido se: Desperdício cortes - Desperdício serra &lt; (402 + 2,5)</b>	Padrão Válido						
11	→	<b>Desperdício de Material: (Desperdício cortes - Desperdício serra)</b>	<b>39,50</b>	<b>402,50</b>	<b>249,50</b>	<b>257,50</b>	<b>3,00</b>	<b>156,00</b>	<b>54,50</b>
12									
13		Função objetivo (total de desperdícios de Material):				8638	mm		
14									
15		Tipo de Padrão (Pj):	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
16		Quantidade:	0	0	0	0	0	0	0
17									
18		Restrições:							
19		Comprimento (mm)		Demanda		Comprimento (mm)		Demanda	
20		Mínimo de 863mm	1096	1000		Máximo de 863mm	1096	1100	
21		Mínimo de 705mm	1500	1500		Máximo de 705mm	1500	1750	
22		Mínimo de 555mm	802	800		Máximo de 555mm	802	880	
23		Mínimo de 402mm	802	800		Máximo de 402mm	802	880	
24									

Fonte: O autor (2017)

Figura 11 – Padrões a serem realizados.

Ref.	Comprimento (mm)	P8	P28	P48	P54	P141	P149	P150	Total de peças produzidas
Tr 30	863	5	2	2	2				1096
Tr 25	705		6	1		1	1		1500
Tr 20	555	3		2	4	8		10	802
Tr 15	402			6	5	2	13	1	802
	Desperdício de Material: (Desperdício cortes - Desperdício serra)	0,00	24,00	19,50	16,50	23,50	34,00	20,50	8638
	Quantidade a ser feita de cada padrão:	122	233	3	7	49	50	1	

Fonte: O autor (2017)

Nota-se que dos 160 padrões existentes, serão utilizados apenas os padrões P8, P28, P48, P54, P141, P149 e P150 nas quantidades respectivas de 122, 233, 3, 7, 49, 50 e 1.

No problema resolvido, o desperdício total no processo de cortes foi de 8638 mm (solução ótima obtida pelo solver), o que equivale a 0,31% do total da matéria-prima, índice que representa a soma de todos os segmentos de barra desperdiçados.

Nota-se, por meio dos valores fornecidos pela empresa, que o desperdício gerado sem a aplicação do modelo de programação de cortes fica situado entre 4% e 6% do total da matéria-prima, o que representa, nestes primeiros testes, resultados favoráveis no que se refere à redução de perdas no processo produtivo.

O próximo capítulo descreve as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

## 5 CONCLUSÃO

O trabalho desenvolvido apresentou um modelo matemático voltado à redução do desperdício no processo de cortes de barras de aço em uma empresa fabricante de instrumentos musicais, onde inicialmente foram verificadas as perdas existentes na empresa e de que modo estas poderiam ser reduzidas.

Partiu-se então, baseado em trabalhos existentes na literatura, para a criação de um modelo de otimização utilizando técnicas já conhecidas da área da Pesquisa Operacional.

Um diferencial desse trabalho em relação a outros já existentes está no fato de se buscar algo além da redução dos desperdícios ocasionados pelas sobras de matéria-prima (ponteiras das barras, atualmente descartadas). Busca-se também a minimização do número de cortes em cada barra, o que ocasionaria perdas relacionadas pelo processo de serramento.

O problema é considerado complexo de ser resolvido, pois consiste no atendimento adequado à demanda de cada tamanho de peça, a partir de cortes adequados. O objetivo final, além de atender às demandas preestabelecidas, foi também minimizar o desperdício geral, ou seja, a soma dos desperdícios relativos à execução de cada padrão de corte.

Dados obtidos com a empresa apontam para um desperdício sem a utilização do modelo de otimização, em torno de 4% a 6%. No cenário testado conseguiu-se chegar a solução ótima do problema, ou seja, alcançar a melhor solução possível, para a qual houve um desperdício de 0,31%, o que aponta para uma significativa redução em relação aos métodos atualmente utilizados na fábrica.

A Pesquisa Operacional demonstrou sua competência nesse processo de programações complexas, auxiliando na resolução do problema. Este processo vem a facilitar a tomada de decisões, e neste caso, oportunizou a resolução do problema de corte unidimensional, com um investimento baixo, mas de forma eficiente, podendo gerar maior rentabilidade para a empresa e contribuir com o meio ambiente, reduzindo o consumo de recursos produtivos.

Recomenda-se, como trabalhos futuros, a realização de novos testes para uma gama maior de cenários produtivos, de forma a verificar o comportamento dos

resultados no que se refere à redução nos desperdícios.

Pode-se ainda estudar a influência da existência ou não de estoques em relação aos resultados observados e como esta existência impacta nos valores dos desperdícios.

Uma importante sugestão é utilizar um algoritmo de geração de padrões de corte de modo a tornar mais ágil esse processo, gerando assim todos os padrões possíveis para problemas de pequeno porte.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, E. L., **Introdução à Pesquisa Operacional: Métodos e Modelos para a Análise de Decisão**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.
- ARENALES, M. et al. **Pesquisa Operacional**. 4<sup>a</sup> reimpressão. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- CAIXETA-FILHO, J. V. **Pesquisa Operacional: Técnicas de Otimização Aplicadas a Sistemas Agroindustriais**. São Paulo: Atlas, 2001.
- CHIAVENATO, Idalberto. **Introdução à Teoria Geral da Administração**. 7. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.
- CORRÊA, Henrique L; CORRÊA, Carlos A.. **Administração de produção e operações, manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2006.
- FRANHO. Serra de fita mecânica FM 1600. São Paulo: Produtos. Disponível em: <<http://www.franho.com.br/produto.php?codigo=4668>> Acesso em: 03 fev. 2016.
- GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. C. L. **Otimização Combinatória e Programação Linear: Modelos e Algoritmos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005
- HILLIER, F.S; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 9 ed. . McGraw Hill, 2013.
- HOFFMANN, Fábio Moacir et al. **Otimização de padrões de cortes bidimensionais guilhotinados restritos**. Espacios, Caracas, v. 36, n. 9, p.1-10, 2015
- KASSAI, S. **Utilização da análise por envoltórias de dados (DEA) na análise de demonstrações contábeis**. Tese (doutorado) Faculdade de Economia e Arquitetura - FEA - da USP. São Paulo, 2002.
- LOEBLEIN, L. C. et al. **Aplicação da Programação Linear para Minimização de Perdas de Aparas em Indústria Metal Mecânica**. Revista Gestão Industrial, Ponta Grossa, PR, v. 8, p.14-29, 2012.
- MARIANO, Enzo B. **Conceitos Básicos de Análise de Eficiência Produtiva**. Anais do XIV Simpósio de Engenharia de Produção – XIV SIMSEP. Bauru – SP, 2007. 12 p.
- MARTINS, P.G.; LAUGENI, F.P. **Administração da Produção**. São Paulo: Saraiva, 2005.
- MELLO J. C. B. S. et. al. **Curso de Análise de Envoltória de Dados**. In: XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – SBPO, Gramado, Anais, 2005.
- MOREIRA, Maria Cristina. **Serramento do Aço ABNT 1045 Utilizando Serras**

**Circulares com Insertos de Metal Duro e Cermet.** 2011. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção:** além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bookman, 1997.

OLIVEIRA, B.; SALVADOR, R.; SILVA, V. M. D. **Otimização do Problema de Corte Unidimensional: Um Estudo de Caso na Indústria Papeleira.** Anais: EEPA, Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial, 7, Campo Mourão- PR, 2013.

PEINADO, Jurandir; GRAEML, Alexandre Reis. **Administração da Produção:** operações industriais e de serviços. Curitiba: Unicenp, 2007. [pesquisaope/1.pdf](#)>. Acesso em: 16 jan. 2012.

RATTUNDE & CO GMBH, *Foto Ludwigslust*, Alemanha: Produtos. Sem Ano. Disponível em: <<http://rattunde.com/uk/products/acs-cfmcurve/photo/1.htm>> Acesso em: 08 ago. 2016.

RAUPP, F. M.; GIBBON, A. R. O. **Pesquisa Operacional Aplicada à Administração: Resolução de Problemas Através da Programação Dinâmica.** ENEGEP, 2001.

SILVA, E. M. *et al.* Pesquisa Operacional. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1998.

SILVEIRA JÚNIOR, J. A.; PINHEIRO, P. R.; THOMAZ, A. C. F. **Otimização das Perdas em Cortes Guilhotinados para Bobinas de Aço na Indústria Metalmeccânica.** Anais, SBPO: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 36 p. 1759 – 1770, 2004.

SILVEIRA, G. M. *et al.* **Aplicação da Programação Linear para Otimização de Cortes de Eixos na Indústria Automotiva.** In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 33., 2013, Salvador, BA. Anais Enegep, 2013.

TAHA, H. A.. **Pesquisa Operacional: uma Visão Geral.** 8. ed. São Paulo: Pearson, 2008.

ULBRICHT, Gerson; RIBEIRO, Richardson. **Otimização em Formulação de Rações Utilizando Técnicas de Programação Linear: Um Estudo de Caso em Processos Industriais.** Anais do li Conbrepro, Ponta Grossa, v. 1, n. 1, p.1-9, 28 nov. 2012. Disponível em: <http://www.aprepro.org.br/conbrepro/2012/anais/artigos/>

ZIMBARDI MÁQUINAS. **Serra Alternativa.** São Paulo: Produtos. Disponível em: <[http://www.zimbardi.com.br/maquinas\\_serra\\_alternativa.html](http://www.zimbardi.com.br/maquinas_serra_alternativa.html)> Acesso em: 17 jan. 2016.

## APÊNDICE A: Artigo Publicado

WAVRZYNCZAK, ULBRICHT & TEIXEIRA (2015)

**HOLOS**  
ISSN 1807 - 1030

### MODELO MATEMÁTICO PARA CORTES DE BARRAS DE AÇO NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE TRIÂNGULOS

H. C. WAVRZYNCZAK, G. ULBRICHT\* e E. S. M. TEIXEIRA  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina  
gerson.ulbricht@ifsc.edu.br\*

Artigo submetido em outubro/2015 e aceito em dezembro/2015

DOI: 10.15628/holos.2015.3605

#### RESUMO

Uma das preocupações das empresas em seus processos fabris é quanto a melhor utilização da matéria-prima, trazendo como consequência a redução ou elevação no custo de fabricação. Sendo assim, no desenvolvimento deste trabalho é apresentado um modelo matemático de otimização com objetivo de minimizar o desperdício de matéria-prima com o uso de ferramentas da pesquisa operacional. Trata-se assim, de um problema de corte unidimensional de barras de aço cilíndricas para a fabricação de triângulos. Em um primeiro estágio foi estabelecido o maior número possível de padrões de corte e em um segundo estágio, foram definidos quais

padrões seriam utilizados em quantidade para atender às demandas previstas. Para validação do modelo, este foi aplicado em uma empresa fabricante de instrumentos musicais, no processo de fabricação de triângulos de quatro medidas onde foi trabalhado com corte de barras, buscando reduzir ao máximo os desperdícios. Assim, obteve-se uma perda teórica de 0,3% do total de barras de aço, menos do que a empresa atinge atualmente. Os testes realizados tem mostrado boas perspectivas quanto à redução significativa nos desperdícios o que demonstra que o modelo se apresenta como um boa ferramenta no auxílio à decisão da gestão de recursos.

**PALAVRAS-CHAVE:** triângulos, cortes unidimensionais, minimização de perdas, modelo matemático

### MATHEMATICAL MODEL FOR STEEL BARS CUTS IN THE PROCESS OF MANUFACTURING OF TRIANGLES

#### ABSTRACT

One of the concerns of the companies in their manufacturing processes is about the better use of the raw material, bringing the effect of reducing or increase the manufacturing cost. Thus, the development of this paper presents a mathematical model of optimization in order to minimize the waste of raw material with the use of operations research tools. It is thus a one-dimensional cutting problem of cylindrical steel bars for the manufacture of triangles. In a first stage it is set the largest possible number of cutting patterns, and in a second stage, defined patterns which would be used in

an amount to meet anticipated demands. To validate the model, this was applied to a manufacturer of musical instruments in the manufacturing process of four measures of triangles where was worked with cutter bars, trying to reduce to the minimum waste. Thus, there was obtained a theoretical loss of 0.3% of the total steel bars, less than the company currently reach. The tests have shown good prospects as a significant reduction in waste which shows that the model is presented as a good tool to aid the decision of resource management.

**KEYWORDS:** triangles, one-dimensional cuts, loss minimization, mathematical model

## ANEXO A: Classificação Qualis Capes

### Periódicos Qualis

**Dados para Consulta**

\*Evento de Classificação:  
CLASSIFICAÇÃO DE PERIÓDICOS 2015 ▼

Área de Avaliação  
 ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA E DE EMPRESAS, CIÊNCIAS CC ▼ 

ISSN:  
 1807-1600

Título:  
 \_\_\_\_\_

Classificação:  
 -- SELECIONE -- ▼

Periódicos			
ISSN	Título	Área de Avaliação	Classificação
1807-1600	HOLOS (NATAL. ONLINE)	ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA E DE EMPRESAS, CIÊNCIAS CONTÁBEIS E TURISMO	B3