



Gustavo Stürmer

**APLICAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA REDUÇÃO DE DESPERDÍCIO
NO PROCESSO DE CORTE DE TUBOS**

Horizontina - RS

2020

Gustavo Stürmer

**APLICAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA REDUÇÃO DE DESPERDÍCIO
NO PROCESSO DE CORTE DE TUBOS**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em engenharia de produção na Faculdade Horizontina, sob a orientação do Prof. Ivete Linn Ruppenthal, Me.

Horizontina - RS

2020

FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o trabalho final de curso

“Aplicação da programação linear para redução de desperdício no processo de corte de tubos”

**Elaborado por:
Gustavo Stürmer**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia de Produção

Aprovado em: 02/12/2020
Pela Comissão Examinadora

Mestre. Ivete Linn Ruppenthal
Presidente da Comissão Examinadora - Orientadora

Doutor Geovane Webler
FAHOR – Faculdade Horizontina

Mestre Eliane Garlet
FAHOR – Faculdade Horizontina

**Horizontina - RS
2020**

À minha família, por sua capacidade de acreditar em mim e investir em mim. Mãe, seu cuidado e dedicação foi que deram em alguns momentos, a esperança para seguir. Pai, sua presença significou segurança e certeza de que não estou sozinho nessa caminhada.

AGRADECIMENTO

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

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”.

(Albert Einstein)

RESUMO

Todo desperdício aumenta o custo e não agrega valor ao produto. O mercado industrial está cada vez mais competitivo, assim sendo, as empresas precisam buscar otimização de seus processos de maneira contínua para obter melhores resultados na busca pela liderança do mercado em que estão inseridas ou apenas para se manter no mercado. Diante da importância deste tema para as indústrias, realizou-se este estudo em uma indústria fabricante de máquinas para o agronegócio. O objetivo geral deste estudo é elaborar modelos matemáticos de programação linear inteira para minimização de desperdícios de matéria prima no processo de corte de tubos que são utilizados para a fabricação do chassi de alguns modelos de equipamentos fabricados pela empresa. Quanto a abordagem, este estudo é dedutivo e quantitativo, e em relação aos objetivos esta pesquisa é classificada em exploratória e descritiva. Elaborou-se os planos de cortes considerando todas as combinações possíveis para cada modelo de tubo, após estruturou-se os modelos matemáticos para todos os modelos de tubos onde evidenciou-se a possibilidade de redução de desperdícios. Foram identificados os desperdícios de matéria prima no processo de corte, sendo 37,8% no tubo A, 13,9% no tubo B, 14% no tubo C e 10,8% no tubo D. Ocorreram reduções de desperdício em 3 modelos de tubos utilizados no processo estudado, sendo 23,8% no tubo A, 4,3% no tubo B e 3% no tubo C. Como proposta para a empresa, sugere-se que esta adquira somente matéria prima de 12.000mm, uma vez que evidenciou-se que com este comprimento de matéria prima há uma redução significativa de desperdício.

Palavras-chave: Desperdício. Otimização. Planos de cortes. Modelos Matemáticos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Programação linear inteira	24
Figura 2 – Objeto de barra a ser cortado (a) e objeto cortado produzindo 4 itens e uma perda (b).....	25
Figura 3 – Objeto de chapa a ser cortado (a) e objeto cortado, produzindo 8 itens e uma perda (b).....	25
Figura 4 – Fluxograma do processo de cortes de tubos	30
Figura 5 – Tubos alocados no setor de corte	32
Figura 6 – Plano de corte da matéria prima 6.000mm e dimensões 80x80x4,75.....	34
Figura 7 – Plano de corte x1 para tubo A.....	35
Figura 8 – Plano de corte x10 para tubo A.....	35
Figura 9 – Plano de corte da matéria prima 13.000mm e dimensões 110x150x6,35	36
Figura 10 – Plano de corte da matéria prima 12.000mm e dimensões 100x100x6,35	37
Figura 11 – Plano de corte da matéria prima 12.400mm e dimensões 100x100x8,00	38
Figura 12 – Modelo matemático para tubo A.....	39
Figura 13 – Tela do suplemento solver com informações inseridas.....	40
Figura 14 – Modelo matemático da matéria prima 6.000mm e dimensões 80x80x4,75	41
Figura 15 – Modelo matemático da matéria prima 13.000mm e dimensões 110x150x6,35.....	42
Figura 16 – Modelo matemático da matéria prima 12.000mm e dimensões 100x100x6,35.....	43
Figura 17 – Modelo matemático da matéria prima 12.400mm e dimensões 100x100x8,00.....	44
Figura 18 – Plano de corte da matéria prima 12.000mm e dimensões 80x80x4,75..	45
Figura 19 – Modelo matemático da matéria prima 12.000mm e dimensões 80x80x4,75.....	47
Figura 20 – Plano de corte da matéria prima 12.000mm e dimensões 110x150x6,35	48
Figura 21 – Modelo matemático da matéria prima 12.000mm e dimensões 110x150x6,35.....	49

Figura 22 – Plano de corte da matéria prima 12.000mm e dimensões 100x100x8,00	50
Figura 23 – Modelo matemático da matéria prima 12.000mm e dimensões 100x100x8,00.....	51
Figura 24 – Proposição de novo fluxograma do processo de corte de tubos	52

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	TEMA	11
1.2	DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	11
1.3	PROBLEMA DE PESQUISA	11
1.4	HIPÓTESES.....	12
1.5	JUSTIFICATIVA	12
1.6	OBJETIVOS	13
1.6.1	Objetivo Geral	13
1.6.2	Objetivos Específicos	13
2	REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1	GESTÃO DA PRODUÇÃO	14
2.2	DESPERDÍCIOS	15
2.3	PESQUISA OPERACIONAL	19
2.3.1	Programação Linear	22
2.3.2	Programação Linear Inteira	23
2.4	PROBLEMAS DE CORTES	24
3	METODOLOGIA	26
3.1	MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS.....	26
3.2	MATERIAIS E EQUIPAMENTOS.....	28
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	29
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA	29
4.2	DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO	29
4.3	ELABORAÇÃO DOS PLANOS DE CORTE DOS TUBOS.....	31
4.4	FORMULAÇÃO DOS MODELOS MATEMÁTICOS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA PARA MINIMIZAÇÃO DE DESPERDÍCIOS.....	39
4.5	PROPOSIÇÃO DE PLANOS DE CORTE E MODELOS MATEMÁTICOS OTIMIZADOS.....	44
4.5.1	Fluxograma do processo otimizado	51
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
	REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

As empresas e principalmente as indústrias, buscam maneiras para se manterem competitivas no mercado e, para que isso seja possível estas precisam otimizar os recursos disponíveis e seus processos, a fim de agregar mais valor ao cliente. Neste sentido, a redução de desperdícios é fundamental para que isso seja possível, uma vez que traz melhores resultados para a organização.

Neste sentido, a Pesquisa Operacional tem sido muito utilizada quando se faz necessária a otimização dos recursos e processos, que tendem a ser decisivos no negócio. Ela utiliza modelos matemáticos, que normalmente são desenvolvidos e resolvidos através de soluções computacionais. O resultado ótimo para a organização vem através dos problemas de otimização, que trazem a maximização dos lucros da empresa ou a minimização dos seus custos, e também a melhoria dos seus processos.

Constantemente a indústria é forçada a passar por otimizações de seus processos para se manter competitiva no mercado. Um dos problemas comuns em ambientes de fabricação nas indústrias, que muitas vezes precisa passar por melhorias, é o de corte de matéria prima como papel, vidro, madeira, papelão, confecções, chapas, tubos, entre outros.

Este problema baseia-se em cortar peças maiores para fabricação de peças menores, levando em consideração as exigências de outros departamentos da organização ou por pedidos externos. Esse problema procura definir a programação ótima de corte, seguindo a determinadas restrições. Sendo assim, otimizar os processos de corte e diminuir o desperdício de matéria prima, impacta diretamente na composição do custo final dos produtos, com isso melhorando o gerenciamento, desenvolvimento e competitividade da organização no mercado em que está inserida (SANTOS, 2014).

Neste contexto, este trabalho foi desenvolvido em uma empresa fabricante de máquinas agrícolas, as quais são projetadas de acordo com a necessidade de quem produz no campo. Os produtos da empresa estão nas lavouras do Brasil e Mercosul. A empresa atende pequenas e grandes propriedades e está localizada na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul.

Desta maneira, este estudo buscou aplicar as ferramentas da pesquisa operacional objetivando melhorias no processo de corte de matéria prima, realizando

a programação dos cortes de tubos, para posterior elaboração de modelos matemáticos, visando a redução de possíveis desperdícios. Devido a acirrada concorrência, para melhorar seu lucro, as empresas não podem aumentar o preço de venda dos produtos. Assim sendo, há a necessidade de reduzir os custos e, neste sentido, reduzir desperdícios no corte da matéria prima apresenta-se como uma ótima alternativa.

1.1 TEMA

O tema deste trabalho é a utilização da programação linear inteira para redução de desperdícios em cortes de tubos, em uma indústria localizada na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O tema deste estudo se delimita na utilização da programação linear inteira para redução de desperdícios em cortes de tubos que são comprados em quatro medidas (6.000mm, 12.000mm, 12.400mm, 13.000mm) e transformados em peças menores, em uma indústria localizada na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul, no período de agosto a novembro de 2020.

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

Por se tratar de uma empresa ligada ao agronegócio, fabricante de máquinas para este, que é um dos setores que mais cresce e se torna cada vez mais competitivo no país, a busca pela otimização dos recursos e seus processos internos se faz necessária. No caso estudado, percebeu-se que para suprir as demandas da programação da produção, poderia estar havendo desperdício, sendo que quando não é utilizado um método científico para programação dos cortes, pode haver desperdícios significativos, que acarretam no aumento dos custos para a produção do produto final.

Baseando-se no exposto, o problema de pesquisa caracteriza-se com a seguinte pergunta: de que forma é possível minimizar o desperdício de matéria prima na indústria aplicando modelos matemáticos de programação linear inteira?

1.4 HIPÓTESES

Elaborou-se as seguintes hipóteses para esta pesquisa:

- A falta de um planejamento bem definido para os cortes de tubos utilizados na produção do produto final, resulta em desperdício da matéria prima;
- Com a utilização da programação linear inteira os desperdícios podem ser reduzidos ou até mesmo eliminados, gerando um melhor resultado para a empresa;
- Substituir as matérias-primas de 6.000mm, 12.400mm e 13.000mm para de 12.000mm, irá reduzir significativamente os desperdícios.

1.5 JUSTIFICATIVA

O mercado industrial está cada vez mais competitivo, assim sendo, as empresas precisam buscar otimização de seus processos de maneira contínua para obter melhores resultados na busca pela liderança do mercado em que estão inseridas ou apenas para se manter no mercado. Uma maneira para manter a competitividade é a busca pela redução de custos.

Nas indústrias muitas vezes podem ocorrer desperdícios quando se trata de processo de cortes de matéria prima, e em outras diversas áreas. Neste sentido a busca por otimização voltada para o processo de corte pode trazer grandes benefícios e aumento da competitividade da empresa no mercado. A justificativa chave deste estudo foi identificada na prática, na empresa estudada, no corte dos tubos que são utilizados para a produção de plataformas agrícolas, sinalizando a dificuldade de utilizar as perdas de material, levando muitas vezes à venda destes tubos como sucata.

Este TFC (trabalho final de curso) foi aplicado em uma indústria fabricante de equipamentos utilizados no agronegócio, situada no noroeste do estado do Rio Grande do Sul, onde são feitos diversos cortes no processo de corte de tubos. Neste processo, que atualmente não possui planos de cortes pré definidos, possivelmente gera desperdício, e para isso, buscou-se desenvolver planos de cortes e após, elaborou-se modelos matemáticos, procurando atender a demanda semanal, visando não deixar estoques desnecessários e ainda reduzir os desperdícios gerados pelos cortes sem planejamento, justificando assim este estudo.

Os itens fabricados no processo de tubos estudado possuem 4 dimensões diferentes, sendo elas 80mmx80mm com espessura de 4,75 mm, 110mmx150mm com espessura de 6,35mm, 100mmx100mm com espessura de 6,35mm e 100mmX100mm com espessura de 8,00mm. Atualmente a empresa utiliza quatro medidas de matéria prima, 6.000mm, 12.000mm 12.400mm e 13.000mm.

1.6 OBJETIVOS

Os objetivos deste estudo se dividem em objetivo geral e objetivos específicos, os quais foram definidos e estão apresentados a seguir.

1.6.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é elaborar modelos matemáticos de programação linear inteira para minimização de desperdícios de matéria prima no processo de corte de tubos.

1.6.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste estudo são:

- a) Estruturar o fluxograma do processo produtivo;
- b) Elaborar os planos de corte para os tubos utilizados;
- c) Formular os modelos matemáticos de programação linear inteira para minimização de desperdícios;
- d) Propor sugestões de melhorias para otimização de recursos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Na revisão de literatura é possível se ater a estrutura necessária para este estudo de caso, abordando temas como a gerência da produção até os objetivos específicos deste trabalho que trata dos problemas relacionados a cortes.

2.1 GESTÃO DA PRODUÇÃO

Para Moreira, (2012) de uma forma geral, a administração da produção e operações diz respeito aquelas atividades orientadas para a produção de um bem físico ou à prestação de um serviço. Neste sentido, a palavra “produção” liga-se mais de perto às atividades industriais, enquanto a palavra “operações” se refere às atividades desenvolvidas em empresas de serviços.

Ainda segundo Moreira (2012), todas as funções gerenciais, em qualquer empresa, têm como plano de fundo uma série de objetivos, que vão desde declarações genéricas de intenções para o futuro, até a descrição específica de metas que devem rapidamente ser atingidas. Para Santos *et. al.* (2020), cabe à gestão da produção entender os aspectos gerais da empresa para alinhar as diretrizes de produção com aquilo que a empresa acredita e tem como valores.

A administração da produção e operações preocupa-se com o Planejamento, a organização, a direção e o controle das operações produtivas, de forma a se harmonizarem com os objetivos da empresa (MOREIRA, 2012).

Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018) relatam que, apesar de aparentemente não existir relação entre a produção propriamente dita da empresa e sua competitividade, é importante ressaltar que cada ação tomada dentro das dependências da empresa acaba afetando seus resultados. Desse modo, quanto mais ajustado é seu processo produtivo, mais competitiva ela vai ser no mercado global e local.

Para Moreira (2012), cada vez mais desenvolve-se uma consciência da importância da administração da produção e operações, devido um reconhecimento do papel da manufatura para a posição da empresa perante seus concorrentes. Ainda segundo o autor, nos últimos anos essa concorrência acabou se cristalizando em um movimento que realça uma atividade vital dentro das organizações industriais: o planejamento racional das atividades de manufatura tendo em vista usá-la como uma arma competitiva.

Para Müller (2014) *apud* Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018), como não há mercados demandantes suficientes para todos os ofertantes colocarem seus produtos, alguns conseguirão fazê-lo e outros não. Isso ressalta ainda mais a importância da empresa gerir seus recursos de forma acertada, para que os objetivos estratégicos estejam alinhados com os objetivos operacionais e eles avancem lado a lado, para garantir o sucesso da organização.

2.2 DESPERDÍCIOS

Nakagawa (1993) *apud* Esteves e Moura (2010) conceitua como sendo desperdício toda forma de custo que não adiciona qualquer valor ao produto sob a ótica do cliente. Por esta definição, contar e estocar partes componentes, qualquer forma de inspeção, testes, transportes, preenchimento de controles internos, perdas durante o processo, atividades de reprocessamento e atendimento de garantias e outros, seriam formas de desperdícios.

Diferente deste pensamento, Robles Júnior (1994) *apud* Esteves e Moura (2010), diz que desperdício é a perda a que a sociedade é submetida devido ao uso de recursos escassos. Esses recursos escassos vão desde material, mão-de-obra e energia perdidos, até a perda de horas de treinamento e aprendizado que a empresa e a sociedade perdem devido, por exemplo, a um acidente de trabalho.

Segundo Santos (2014) estima-se que desde muito tempo o desperdício seja um termo presente e constante no cotidiano das indústrias. Como exemplos clássicos de desperdícios, lista-se: matéria-prima, insumos, mão de obra, tempo, dinheiro, recursos tecnológicos, energia, combustível, resíduos, espaço físico e até potencial humano.

Ainda segundo Santos (2014), a matéria-prima em geral, pode ser proveniente de recurso natural ou obtida através de reprocessamento, ou seja, subprodutos. Em uma fábrica, julga-se que os desperdícios mais significativos para a produção estão no que tangem os insumos e a matéria-prima.

Para Corrêa e Corrêa (2017) eliminar desperdícios significa analisar todas as atividades realizadas na fábrica e descontinuar as que não agregam valor à produção.

De acordo com Ohno (1997), ao pensar sobre a eliminação total do desperdício, precisa-se ter em mente os seguintes pontos:

- a) O aumento da eficiência só faz sentido quando está associado a redução de custos. Para obter isso, é necessário produzir apenas aquilo que é necessário, usando um mínimo de mão-de-obra;
- b) Observar a eficiência de cada operador e de cada linha. Observar então os operadores como um grupo, e depois a eficiência de toda a fábrica (todas linhas). A eficiência deve ser melhorada em cada estágio e, ao mesmo tempo, para a fábrica como um todo.

Ainda segundo Ohno (1997), a verdadeira melhoria na eficiência surge quando se produz zero desperdício e leva-se a porcentagem de trabalho para 100%. Uma vez que, no sistema Toyota de produção deve-se produzir apenas a quantidade necessária a força de trabalho deve ser reduzida para cortar o excesso de capacidade e corresponder à quantidade necessária.

Ohno (1997) destaca que, o passo preliminar para a aplicação do sistema Toyota de Produção é identificar completamente os desperdícios:

- Desperdício de superprodução;
- Desperdício de tempo disponível (espera);
- Desperdício em transporte;
- Desperdício do processamento em si;
- Desperdício de estoque disponível (estoque);
- Desperdício de movimento;
- Desperdício de produzir produtos defeituosos.

De acordo com o mesmo autor, a eliminação completa desses desperdícios pode aumentar a eficiência de operação por uma ampla margem.

Segundo Corrêa e Corrêa (2017), alguns autores definem a filosofia JIT/*lean* como um sistema de manufatura cujo objetivo é otimizar os processos e os procedimentos por meio da redução contínua de desperdícios. O mesmo autor identifica as sete categorias de desperdício, conforme apresentado a seguir:

- **Desperdício de transporte:** a atividade de transporte e movimentação de material não agrega valor ao produto produzido e é necessária devido a restrições do processo e das instalações, que impõem grandes distâncias a serem percorridas pelo material ao longo do processamento. Encaradas como desperdícios de tempo e recursos, as atividades de transporte e movimentação devem ser eliminadas;

- **Desperdício de superprodução:** o JIT (*Just in time*)/lean considera um desperdício o hábito de produzir antecipadamente a demanda, para o caso de os produtos serem requisitados no futuro. A produção antecipada, isto é, maior do que a necessária no momento, provém, em geral, de problemas e restrições do processo produtivo, tais como: altos tempos de preparação de equipamentos, induzindo à produção de grandes lotes; incerteza da ocorrência de problemas de qualidade e confiabilidade de equipamentos, levando a produzir mais do que o necessário; falta de coordenação entre as necessidades (demanda) e a produção, em termos de quantidades e momentos; grandes distâncias a percorrer com o material, em função de um arranjo físico inadequado, levando à formação de lotes para a movimentação, entre outros. Desse modo, a filosofia JIT/lean sugere que se produza somente o que é necessário no momento e, para isso, que se reduzam os tempos de setup (preparação do equipamento para mudança de atividade), que se sincronize a produção com a demanda, que se compacte o layout da fábrica, e assim por diante;
- **Desperdício de espera:** esse tipo de desperdício refere-se ao material que espera para ser processado, formando filas que visam garantir altas taxas de utilização dos equipamentos. A filosofia JIT/lean coloca a ênfase no fluxo de materiais e não nas taxas de utilização dos equipamentos, os quais somente devem trabalhar se houver necessidade. A sincronização do fluxo de trabalho e o balanceamento das linhas de produção contribuem para a eliminação desse tipo de desperdício; ou reduzidas ao máximo, por meio da elaboração de um arranjo físico adequado, que minimize as distâncias a serem percorridas. Tem sido dada muita ênfase às técnicas de movimentação e armazenagem de materiais, enquanto o que realmente importa é eliminar as necessidades de armazenamento, reduzindo os estoques, e a necessidade de movimentação, pela redução das distâncias, para que, só então, se pense em racionalizar o transporte e a movimentação de materiais que não puderem ser eliminados;
- **Desperdício de processamento:** no próprio processo produtivo pode estar havendo desperdícios que podem ser eliminados. Deve-se questionar, por exemplo, “por que determinado item ou componente deve ser feito”, “qual a sua função no produto”, “por que esta etapa do processo é necessária”. É comum que os gerentes preocupem-se em como fazer as coisas mais rápido, sem antes questionar se elas devem realmente ser

feitas. Nesse sentido, torna-se importante a aplicação das metodologias de engenharia e análise de valor, que consistem na simplificação ou redução do número de componentes ou operações necessários para produzir determinado produto. Qualquer elemento que adiciona custo e não valor ao produto é candidato à investigação;

- **Desperdício de movimento:** os desperdícios de movimento estão presentes nas mais variadas operações que se executam na fábrica. A filosofia JIT/*lean* adota as técnicas de estudo de métodos e do trabalho, visando alcançar economia e consistência nos movimentos. A economia dos movimentos aumenta a produtividade e reduz os tempos associados ao processo produtivo. A consistência contribui para o aumento da qualidade. A importância das técnicas de estudo de tempos e métodos é justificada, pois o JIT/*lean* é um enfoque essencialmente de baixa tecnologia, apoiando-se em soluções relativamente simples e de baixo custo, em vez de grandes investimentos em automação. Ainda que se decida pela automação, devem-se aprimorar os movimentos para, somente então, mecanizar e automatizar; caso contrário, corre-se o risco de automatizar o desperdício;
- **Desperdício de produzir produtos defeituosos:** problemas de qualidade geram os maiores desperdícios do processo. Produzir produtos defeituosos significa desperdiçar materiais, disponibilidade de mão de obra, disponibilidade de equipamentos, movimentação de materiais defeituosos, armazenagem destes, inspeção de produtos, entre outros. O processo produtivo deve ser desenvolvido de tal maneira que previna a ocorrência de defeitos, para que se possam eliminar as inspeções. Os defeitos não devem ser aceitos e não devem ser gerados. É comum nas fábricas que adotaram a filosofia JIT/*lean* a utilização de “dispositivos à prova de falhas”, os quais procuram evitar os erros comuns causados pelo homem. Os poka yoke, como são chamados em japonês, são encontrados nas mais diversas formas e nas várias etapas do processo produtivo;
- **Desperdício de estoques:** os estoques, como foi comentado, além de ocultar outros tipos de desperdício, significam desperdícios de investimento e espaço. A sua redução deve ser feita por meio da eliminação das causas geradoras da necessidade de se manterem estoques. Reduzindo todos os outros, reduzem-se, por consequência, os desperdícios de estoque. Isso pode ser feito reduzindo tempos de preparação de máquinas, reduzindo os

lead times de produção, sincronizando os fluxos de trabalho, reduzindo as flutuações de demanda, tornando as máquinas confiáveis e garantindo a qualidade dos processos.

2.3 PESQUISA OPERACIONAL

De acordo com Hillier e Lieberman (2013) a Pesquisa Operacional (PO) surgiu na Segunda Guerra Mundial, com a necessidade de otimizar os escassos recursos nas operações militares, quando foram convocados cientistas para resolução de problemas técnicos e estratégicos.

Ainda segundo Hillier e Lieberman (2013), após o fim da guerra, veio o boom industrial, e com isso grande interesse na aplicação da PO fora do ambiente militar para resolução de problemas que eram praticamente os mesmos que os enfrentados na guerra, porém em um contexto diferente. Nos anos 1950, as pessoas que haviam trabalhado com a PO na guerra ou acompanhado as equipes, haviam introduzido a PO nas empresas dos setores comercial, industrial e governamental. A rápida propagação veio a seguir.

Para Silva *et. al.* (2017), Pesquisa Operacional é um método científico de tomada de decisões. Em linhas gerais, consiste na descrição de um sistema organizado com o auxílio de um modelo, e através da experimentação com o modelo, na descoberta da melhor maneira de operar o sistema.

A Pesquisa Operacional envolve “pesquisa sobre operações”. Sendo assim, a PO é aplicada em problemas que compõe a condução e coordenação das operações em uma empresa. A PO tem sido utilizada em áreas bem distintas tal como manufatura, logística, construção, telecomunicações, planejamento, financeiro, assistência médica, militar e serviços públicos, citando algumas delas. Sendo assim, a série de aplicações é grande (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

Segundo Lachtermacher (2016) pode-se entender a tomada de decisão como o processo de identificação de um problema ou de uma oportunidade e a seleção de uma linha de ação para resolvê-lo. Um problema ocorre quando o estado atual de uma situação é diferente do desejado. Já uma oportunidade ocorre quando as circunstâncias oferecem a chance de um indivíduo ou de uma organização ultrapassar ou alterar seus objetivos ou metas.

Para Silva *et. al.* (2017), um estudo em Pesquisa Operacional costuma envolver seis fases:

- a) Formulação do problema;
- b) Construção do modelo do sistema;
- c) Cálculo da solução através do modelo;
- d) Teste do modelo e da solução;
- e) Estabelecimento de controles da solução;
- f) Implantação e acompanhamento.

Que podem ser descritas como segue:

- **Formulação do Problema:** Nesta fase, o administrador do sistema e o responsável pelo estudo em P.O. deverão discutir, no sentido de colocar o problema de maneira clara e coerente, definindo os objetivos a alcançar e quais os possíveis caminhos alternativos para que isso ocorra. Além disso, serão levantadas as limitações técnicas do sistema e as relações desse sistema com outros da empresa ou do ambiente externo, com a finalidade de criticar a validade de possíveis soluções em face destes obstáculos (SILVA ET. AL., 2017).

Ainda, segundo o mesmo autor, deverá além disso ser acordada uma medida de eficiência para o sistema, que permita ao administrador ordenar as soluções encontradas, concluindo o processo decisório.

- **Construção do Modelo do Sistema:** Os modelos que interessam em Pesquisa Operacional são os modelos matemáticos, isto é, modelos formados por um conjunto de equações e inequações. Uma das equações do conjunto serve para medir a eficiência do sistema para cada solução proposta. É a função objetivo ou função de eficiência. As outras equações geralmente descrevem as limitações ou restrições técnicas do sistema. Segundo Silva *et. al.* (2017), as variáveis que compõem as equações são de dois tipos:

- **Variáveis controladas ou de decisão:** são variáveis cujo valor está sob controle do administrador. Decidir, neste caso, é atribuir um valor particular a cada uma dessas variáveis. Em uma programação de produção, por exemplo, a variável de decisão é a quantidade a ser produzida em um determinado período, o que compete ao administrador controlar.
- **Variáveis não controladas:** são as variáveis cujos valores são arbitrados por sistemas fora do controle do administrador. Custos de produção,

demanda de produtos, preço de mercado são variáveis não controladas.

Um bom modelo é aquele que tem desempenho suficientemente próximo do desempenho da realidade e que seja de fácil experimentação. Essa proximidade desejada é variável, dependendo do objetivo proposto. Um bom modelo para um objetivo pode ser péssimo para outro. A fidelidade de um modelo é aumentada à medida que ele incorpora características da realidade, com a adição de novas variáveis. Isso aumenta sua complexidade, dificultando a experimentação, o que leva a considerar o fator custo-benefício quando se quer melhorar o desempenho de um modelo (SILVA ET. AL., 2017).

- **Cálculo da solução através do modelo:** É feito através de técnicas matemáticas específicas. A construção do modelo deve levar em consideração a disponibilidade de uma técnica para o cálculo da solução (SILVA ET. AL., 2017).
- **Teste do modelo e da solução:** Esse teste é realizado com dados empíricos do sistema. Se houver dados históricos, eles serão aplicados no modelo, gerando um desempenho que pode ser comparado ao desempenho observado no sistema. Se o desvio verificado não for aceitável, a reformulação ou mesmo o abandono do modelo será inevitável. Caso não haja dados históricos, os dados empíricos serão anotados com o sistema funcionando sem interferência, até que o teste possa ser realizado (SILVA ET. AL., 2017).
- **Estabelecimento de controles da solução:** A construção e experimentação com o modelo identificam parâmetros fundamentais para solução do problema. Qualquer mudança nesses parâmetros deve ser controlada para garantir a validade da solução adotada. Caso alguns desses parâmetros sofram desvio além do permitido, o cálculo de nova solução ou mesmo a reformulação do modelo poderá ser necessário (SILVA ET. AL., 2017).
- **Implementação e acompanhamento:** Nesta fase, a solução será apresentada ao administrador, evitando-se o uso da linguagem técnica do modelo. O uso da linguagem do sistema em estudo facilita a compreensão e gera boa vontade para a implantação que está sendo sugerida. Essa

implantação deve ser acompanhada para se observar o comportamento do sistema com a solução adotada. Algum ajuste pode ser requerido (SILVA ET. AL., 2017).

2.3.1 Programação Linear

Para Moreira, (2012) a Programação Linear é um modelo matemático desenvolvido para resolver determinados tipos de problemas, onde as relações entre as variáveis relevantes possam ser expressas por equações e inequações lineares. Dada a relativa abundância de problemas com tais características, em muitas áreas profissionais e de pesquisa, a Programação Linear tenha se tornou o mais popular modelo em Ciência da Gerência.

Ainda segundo Moreira, (2012) a programação linear é um problema típico da Administração da Produção e Operações. Os recursos produtivos (máquinas, equipamentos, mão-de-obra, matérias-primas, espaço disponível etc.) podem ser alocados a um conjunto conhecido de produtos. O problema consiste em descobrir quanto fazer de cada produto para, ao mesmo tempo, atender a demanda de cada um deles e atingir o máximo lucro ou, alternativamente, o mínimo custo. Cada um dos recursos é limitado, e essas limitações correspondem, juntamente com as necessidades da demanda, às restrições do problema.

De acordo com Moreira (2012), de uma forma geral, um modelo de programação linear apresenta as seguintes características:

- a) Se deseja maximizar ou minimizar o resultado de alguma combinação de variáveis, como por exemplo o lucro na venda de dois ou mais produtos, ou o custo envolvido na sua fabricação. Essa combinação de variáveis é colocada na forma de uma expressão matemática, que recebe o nome de função objetivo. Problemas envolvendo lucros, receitas ou custos (enfim, resultados financeiros) estão entre os mais comuns em termos de aplicações gerenciais, embora muitos outros (como problemas de minimização de tempo, por exemplo) também sejam encontrados;
- b) Existe uma certa necessidade de recursos, inerente à própria estrutura do problema. No caso de produtos, os recursos podem ser horas de máquina, pessoal ou matéria-primas. Os recursos podem ser simplesmente dinheiro, no caso de um investimento onde se queira maximizar o retorno esperado com determinadas aplicações;

- c) Os recursos são limitados, no sentido de que suas quantidades são restritas a certos valores. Podem existir também restrições derivadas de normas legais, políticas da companhia ou mesmo do próprio cliente.

2.3.2 Programação Linear Inteira

Para Lachtermacher (2016) problemas de programação linear inteira são aqueles de programação matemática em que uma ou mais variáveis de decisão são representadas apenas por valores inteiros. Esses problemas podem apresentar dois tipos básicos:

- **Programação inteira total:** Todas as variáveis de decisão são do tipo inteiro.
- **Programação inteira mista:** Apenas uma parte das variáveis é do tipo inteiro, enquanto as outras são do tipo real.

Ainda segundo Lachtermacher (2016), problemas de programação linear inteira (PLI) são aqueles em que a função-objetivo e as restrições são lineares, porém uma ou mais variáveis de decisão são representadas apenas por valores inteiros. A diferença entre programação linear inteira e a programação linear é a introdução de pelo menos uma restrição que limita o espectro de variação de uma variável de decisão. Matematicamente, um problema de programação linear inteira total pode ser escrito como demonstrado na Figura 1:

Figura 1 – Programação linear inteira

Otimizar: $Z = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$

$$\begin{array}{l} \text{s.r.} \\ \left. \begin{array}{l} g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \vdots \\ g_m(x_1, x_2, \dots, x_n) \end{array} \right\} \begin{array}{l} \leq \\ = \\ \geq \end{array} \left\{ \begin{array}{l} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{array} \right. \\ x_1, x_2, \dots, x_n \text{ são inteiros} \end{array}$$

em que:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

$$g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

Fonte: Lachtermacher, 2016, p. 139

Ainda de acordo com Lachtermacher (2016) a todo problema de programação linear inteira está associado um problema com a mesma função objetivo e as mesmas restrições, com exceção da condição de variáveis inteiras.

2.4 PROBLEMAS DE CORTES

Segundo Cherri (2006), os problemas de corte de estoque consistem em cortar peças maiores (objetos) disponíveis em estoque, produzindo um conjunto de peças menores (itens), com a finalidade de atender uma certa demanda, otimizando uma determinada função objetivo que pode ser, por exemplo, minimizar o número total de peças em estoque a serem cortadas, ou as perdas, ou custos das peças cortadas, etc. Estes problemas são essenciais para o planejamento da produção em muitas indústrias, tais como indústrias de papel, vidro, móveis, metalúrgica, plástica, têxtil, etc. Nessas indústrias, a redução dos custos de produção e a melhoria da eficiência estão frequentemente associadas a utilização de estratégias adequadas de cortes, o que estimula pesquisas acadêmicas de modelos de otimização para o controle e planejamento de sistemas produtivos.

Pode-se encontrar na literatura uma vasta gama de problemas de corte e empacotamento. Dyckhoff (1990) apresentou uma tipologia para classificar conforme suas características, sendo elas: dimensionalidade, tipo de seleção dos objetos/itens, variedade de objetos/itens, entre outros. Tendo em vista a dimensionalidade, podemos classificar os problemas de corte como:

- a) **Unidimensional:** Somente uma das dimensões é relevante no processo de corte. Estes problemas de corte unidimensional ocorrem no processo de corte de barras de aço com a mesma seção transversal, bobinas de papel, placas de alumínio, tubos para produção de treliças, etc. A Figura 2 ilustra este problema:

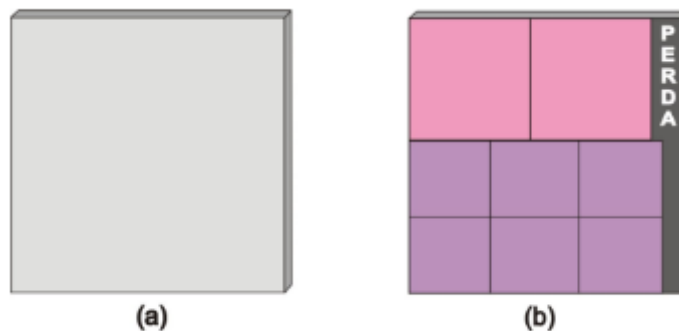
Figura 2 – Objeto de barra a ser cortado (a) e objeto cortado produzindo 4 itens e uma perda (b)



Fonte: Cherri, 2006

- b) **Bidimensional:** São duas as dimensões importantes no processo de corte, sendo que todas as peças cortadas tem a mesma espessura. Este problema é resolvido combinando geometricamente os itens no comprimento e largura dos objetos em estoque. Estes problemas de corte bidimensional podem ocorrer em indústrias de placas de vidro, madeiras, etc. A Figura 3 ilustra este tipo de problema.

Figura 3 – Objeto de chapa a ser cortado (a) e objeto cortado, produzindo 8 itens e uma perda (b)



Fonte: Cherri, 2006

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho, buscou-se reunir as informações sobre todos os cortes de tubos que são realizados na empresa para que sejam utilizados no produto final (plataformas) com informações como medidas dos tubos comprados e medidas obtidas após o processo de corte. Para isto, foi necessário o envolvimento do gerente industrial da empresa e de um auxiliar de PCP, os quais transmitiram todas as informações solicitadas na coleta de dados necessários para a realização deste trabalho.

Nesta situação, foram coletadas as informações sobre as medidas dos cortes dos tubos e suas respectivas quantidades, após o estudo dos dados foi feita uma planilha onde foram lançadas essas informações e se fez uma análise para a realização dos planos de corte e aplicação dos modelos matemáticos, buscando a diminuição dos desperdícios tendo em vista o cenário atual.

3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

Os métodos de abordagem utilizados neste estudo foram o dedutivo e quantitativo. Segundo Prodanov e Freitas (2013), o método dedutivo, de acordo com o entendimento clássico, é o método que parte do geral e, a seguir, desce ao particular. A partir de princípios, leis ou teorias consideradas verdadeiras e indiscutíveis, prediz a ocorrência de casos particulares com base na lógica. Para Gil (2008, p. 9), o método de abordagem dedutivo “parte de princípios reconhecidos como verdadeiros e indiscutíveis e possibilita chegar a conclusões de maneira puramente formal, isto é, em virtude unicamente de sua lógica.”

Esta pesquisa é caracterizada como quantitativa uma vez que trata de dados numéricos relacionados aos planos de cortes e apuração dos desperdícios de matéria prima, para posterior elaboração dos modelos matemáticos.

Esta pesquisa, quanto aos objetivos é exploratória e descritiva. Segundo Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa exploratória é quando esta se encontra na fase preliminar, tendo como finalidade proporcionar mais informações sobre o assunto que será investigado, possibilitando sua definição e seu delineamento, isto é, facilitar a delimitação do tema da pesquisa; orientar a fixação dos objetivos e a formulação das hipóteses ou descobrir um novo tipo de enfoque para o assunto. Assume, em geral, as formas de pesquisas bibliográficas e estudos de caso. Ainda

de acordo com Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa descritiva observa, registra, analisa e ordena dados, sem manipulá-los, isto é, sem interferência do pesquisador. Procura descobrir a frequência com que um fato ocorre, sua natureza, suas características, causas, relações com outros fatos.

Assim, para coletar tais dados, utiliza-se de técnicas específicas, dentre as quais se destacam a entrevista, o formulário, o questionário, o teste e a observação. Esta pesquisa é caracterizada como descritiva uma vez que buscou-se somente observar, registrar e analisar os dados repassados pela empresa sobre o cenário atual dos cortes de tubos, para que após isso fossem ordenadas e organizadas as informações coletadas, a fim de propor melhorias para a empresa.

Os métodos de procedimentos utilizados foram a pesquisa bibliográfica, documental e estudo de caso. Para Prodanov e Freitas (2013) a pesquisa bibliográfica é elaborada a partir de material já publicado, constituído principalmente de: livros, revistas, publicações em periódicos e artigos científicos, jornais, boletins, monografias, dissertações, teses, material cartográfico, internet, com o objetivo de colocar o pesquisador em contato direto com todo material já escrito sobre o assunto da pesquisa. Na pesquisa bibliográfica, é importante que o pesquisador verifique a veracidade dos dados obtidos, observando as possíveis incoerências ou contradições que as obras possam apresentar.

Segundo Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa documental, devido a suas características, pode ser confundida com a pesquisa bibliográfica. Gil (2008) destaca como principal diferença entre esses tipos de pesquisa a natureza das fontes de ambas as pesquisas. Enquanto a pesquisa bibliográfica se utiliza fundamentalmente das contribuições de vários autores sobre determinado assunto, a pesquisa documental baseia-se em materiais que não receberam ainda um tratamento analítico ou que podem ser reelaborados de acordo com os objetivos da pesquisa. A pesquisa documental foi utilizada pois foi necessário ter acesso a documentos da empresa em estudo, como, planilhas, imagens, informações sobre quantidades entre outros documentos.

Para Prodanov e Freitas (2013) o estudo de caso consiste em coletar e analisar informações sobre determinado indivíduo, uma família, um grupo ou uma comunidade, a fim de estudar aspectos variados de sua vida, de acordo com o assunto da pesquisa. É um tipo de pesquisa qualitativa e/ou quantitativa, entendido como uma categoria de investigação que tem como objeto o estudo de uma unidade

de forma aprofundada, podendo tratar-se de um sujeito, de um grupo de pessoas, de uma comunidade etc. São necessários alguns requisitos básicos para sua realização, entre os quais, severidade, objetivação, originalidade e coerência. Este é um estudo de caso, pois se aplica somente a esta situação específica, devido suas particularidades.

A técnica de coleta de dados utilizada neste estudo foi a entrevista. Prodanov e Freitas (2013) afirmam que a entrevista é a obtenção de informações de um entrevistado sobre determinado assunto ou problema. É necessário ter um plano para a entrevista, visto que, no momento em que ela está sendo realizada, as informações necessárias não deixem de ser colhidas. As entrevistas podem ter o caráter exploratório ou ser de coleta de informações. Se a de caráter exploratório é relativamente estruturada, a de coleta de informações é altamente estruturada. A entrevista se deu de forma informal com o gerente industrial e com o analista responsável pelo corte de tubos.

As técnicas de análise de dados utilizadas na pesquisa foram o Excel, para elaborar os planos de cortes e o suplemento Solver do Excel para a resolução dos modelos matemáticos e ainda, a técnica de análise de conteúdo.

Neste estudo a análise de conteúdo serviu para analisar e interpretar os dados coletados por meio das entrevistas realizadas com o gerente industrial e o analista de PCP.

3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

O estudo foi realizado através de informações fornecidas pelo gerente industrial e também o analista de PCP. Foram utilizados como meios de comunicação o aplicativo de conversas WhatsApp, E-mail, e a ferramenta de reuniões do Google, chamada Meet. Devido a pandemia do COVID-19, não foi possível realizar visitas à empresa, em virtude disso foram utilizadas as ferramentas citadas acima para comunicação.

Como ferramentas de pesquisa foram utilizados os livros da biblioteca digital e física da FAHOR. A resolução dos problemas foi realizada através do Excel e do suplemento Solver.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão abordados assuntos como a caracterização da empresa, que traz informações como mercado em que está inserida, estrutura entre outras. Também, consta a descrição do processo produtivo estudado, a elaboração dos planos de corte e modelos matemáticos e por fim, sugestões de melhorias para a empresa estudada.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

O estudo foi realizado em uma indústria fabricante de máquinas e equipamentos agrícolas que levam soluções para o homem do campo visando melhores resultados para o produtor. A indústria estudada está inserida no mercado a mais de 25 anos. Conhecendo a realidade do pequeno produtor de sua região, a indústria começou inovando com sistemas de plantio direto, logo a empresa já estava produzindo a primeira linha de plantadeiras, e evoluindo seus produtos a medida do crescimento da empresa. Devido a questões de confidencialidade, o nome da empresa não está mencionado.

Hoje a empresa está inserida entre as grandes marcas do agronegócio brasileiro, cultivando relação com o agricultor conhecendo suas necessidades diretamente no campo, gerando soluções em máquinas e implementos.

Com mais de 75.000 m² de área, sendo destes, 17.000m² de área construída, a indústria conta com cerca de 300 funcionários e está localizada na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul.

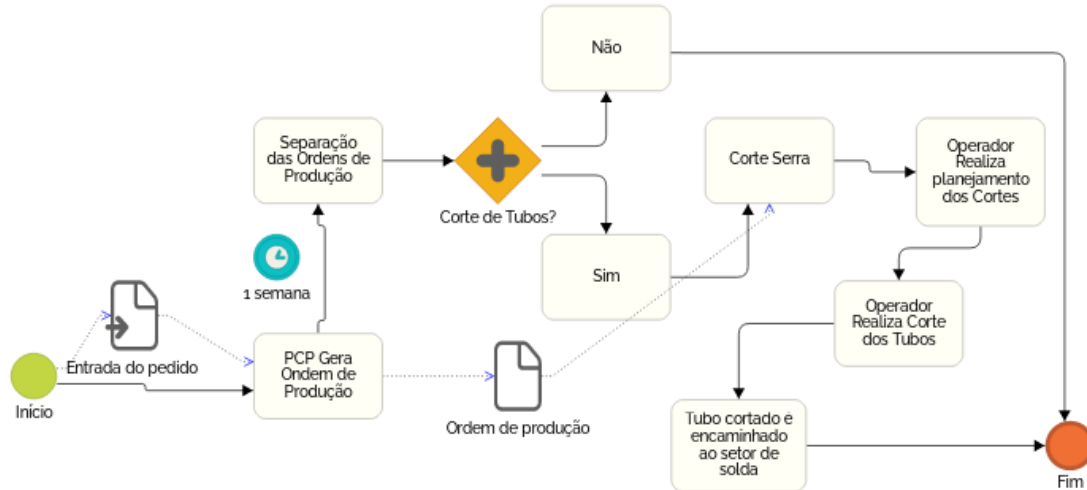
Fez-se este estudo a fim de tentar minimizar ou eliminar os possíveis desperdícios que ocorrem no processo de cortes dos tubos. Mais especificamente, o processo de corte de tubos estudado, manufatura estes tubos para que sejam utilizados nas plataformas de milho fabricadas pela empresa. Estes tubos são utilizados em dois modelos de plataforma, o modelo X que é capaz de colher de 7 a 17 linhas de milho e o modelo Y, que é capaz de colher de 18 a 26 linhas de milho.

4.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO

Para entender o funcionamento do processo de cortes de tubos da empresa estudada, foi necessária uma coleta de informações com o gerente industrial e um

dos analistas de PCP. A seguir na figura 4 apresenta-se a estruturação do fluxograma.

Figura 4 – Fluxograma do processo de cortes de tubos



Fonte: O Autor, 2020

O processo produtivo da empresa em estudo, desde a entrada do pedido até o corte dos tubos, inicia com o recebimento dos pedidos pela equipe de PCP. Após o recebimento dos pedidos a equipe realiza a geração das ordens de produção, esta tarefa leva em média uma semana. Estas ordens de produção (OP) contém informações como cota, medidas, espessura de tubo, local de armazenamento da matéria-prima entre outras. As OP são encaminhadas para o processo corte serra, responsável pelo corte desta da matéria prima, onde o operador que realiza o processo leva cerca de 1 hora por semana para programar os cortes da semana de acordo com as ordens.

Como a empresa não possui planos de corte estruturados, o próprio operador ao receber a OP realiza sua avaliação, faz os cálculos e busca o melhor aproveitamento dos tubos conforme a demanda da empresa. Após os cortes realizados, os tubos são encaminhados para o setor de solda, onde ficam armazenados até que o operador da área receba as ordens de produção, utilizando-os para fazer a soldagem do chassis dos equipamentos.

Como citado anteriormente, o corte é realizado pelo operador do processo e a otimização da matéria prima é realizada de acordo com sua intuição e conhecimento. A busca pela minimização dos desperdícios, mesmo não utilizando plano de corte ou modelo matemático para melhor utilização da matéria prima, é

realizada pelo próprio operador, o que demanda tempo e ainda pode não ter o melhor aproveitamento da matéria prima.

4.3 ELABORAÇÃO DOS PLANOS DE CORTE DOS TUBOS

O problema consiste em cortar peças maiores e transformá-las em peças menores, o que atualmente na empresa estudada é realizado sem planos de cortes definidos. Normalmente empresas de pequeno e médio porte não possuem planos de corte que buscam otimizar a utilização da matéria prima, e sim realizam os cortes sem nenhuma base matemática. Isso na grande maioria das vezes leva as indústrias ao desperdício de matéria prima. O ideal nestas situações é que se realize estudos e sejam utilizadas técnicas a fim de diminuir o desperdício.

No caso estudado, o processo de corte é realizado em 4 tipos de tubos com diversos comprimentos de cortes que são utilizados na fabricação do chassi das plataformas de acordo com os modelos fabricados pela empresa. Os tubos variam conforme as dimensões da tabela 1 mostrada a seguir:

Tabela 1 – Tubos

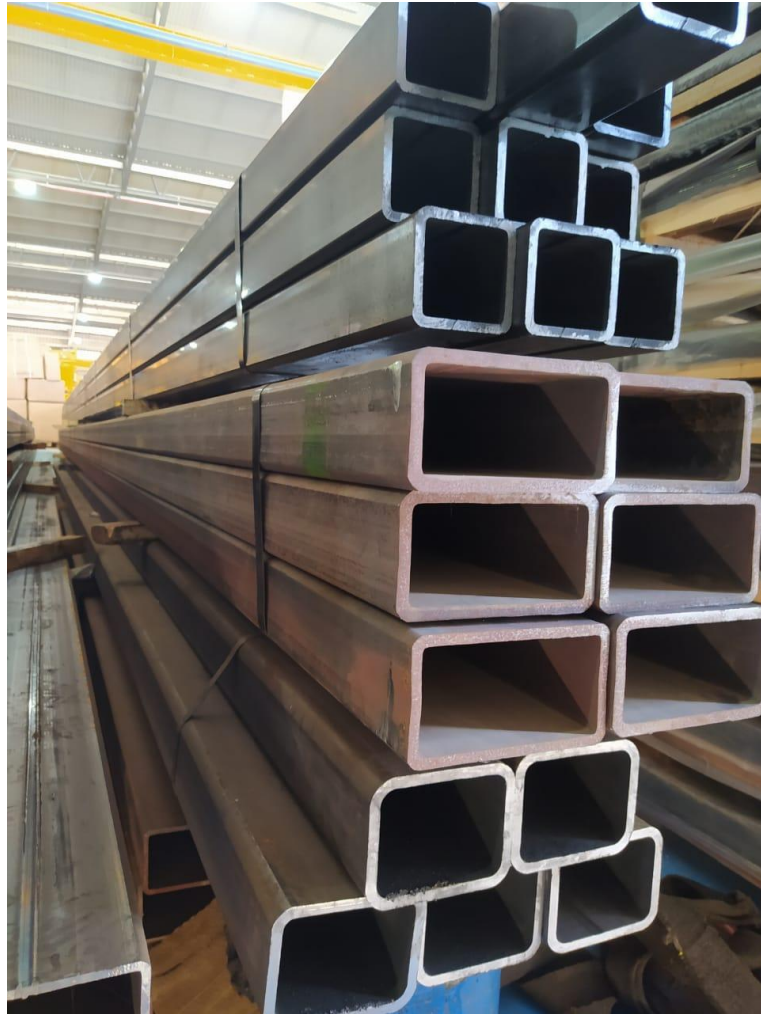
	Tubos			
	Tubo A	Tubo B	Tubo C	Tubo D
Dimensões (mm)	80x80	110x150	100x100	100x100
Espessura (mm)	4,75	6,35	6,35	8

Fonte: O Autor, 2020

Os tubos são comprados pela empresa em 4 medidas de comprimento, 6.000 mm para fabricação dos tubos modelo A, 13.000mm para fabricação dos tubos modelo B, 12.000mm para fabricação do modelo C e 12.400 para fabricação do modelo D.

A figura 5 representa o perfil dos tubos citados na tabela apresentada anteriormente.

Figura 5 – Tubos alocados no setor de corte



Fonte: O Autor, 2020

Para fabricação do chassis das plataformas são utilizados 20 comprimentos de cortes de tubos e 4 dimensões. A seguir no quadro 1 estão listados os tubos com seus respectivos comprimentos e os modelos de máquinas em que são utilizados.

Quadro 1 – Comprimentos dos cortes dos tubos em relação aos modelos

Plataforma	Comprimento dos cortes dos Tubos do Chassis (mm)			
	Tubo A 80x80x4,75	Tubo B 110x150x6,35	Tubo C 100x100x6,35	Tubo D 100x100x8,00
Plataforma X1		3.216		3.216
Plataforma X2		3.674		3.674
Plataforma X3		4.094		4.094
Plataforma X4		4.624		4.624
Plataforma X5		5.024		5.024
Plataforma X6		5.514		5.514
Plataforma X7		6.024		6.024
Plataforma X8		6.464		6.464
Plataforma X9		6.884		6.884
Plataforma X10		7.354		7.354
Plataforma X11		7.694		7.694
Plataforma X12	2.835	8.160	8.160	
Plataforma X13	3.060	8.610	8.610	
Plataforma X14	3.220	8.930	8.930	
Plataforma X15	3.282	9.055	9.055	
Plataforma X16	3.505	9.500	9.500	
Plataforma X17	3.765	10.020	10.020	
Plataforma X18	3.987	10.465	10.465	
Plataforma X19	4.210	10.910	10.910	
Plataforma X20	4.655	11.800	11.800	

Fonte: O Autor, 2020

Como pode-se analisar no quadro 1, são 20 cortes de tubos ao total, divididos em 4 modelos de tubos. Desta maneira, sem um plano de corte e um modelo matemático para indicar a melhor maneira de realizar os cortes para diminuir o desperdício, o operador além de levar um tempo considerável para análise dos cortes (cerca de 1 hora por semana), tende a ter um desperdício que poderia ser evitado com a aplicação dos planos de cortes e modelos matemáticos, através do método da programação linear inteira.

Uma vez que a empresa não possui registro de como os cortes são realizados e não segue um padrão, ou seja para cada OP o operador faz a programação, não há como mensurar os desperdícios já ocorridos. Então, para se ter a informação do desperdício, foram desenvolvidos planos de cortes com as medidas dos tubos comprados atualmente utilizando como base a demanda do mês de maio de 2020, onde a empresa teve a saída de 54 máquinas.

Foram necessários 4 planos de corte para a situação atual. Eles foram separados por medidas dos cortes (listados anteriormente) e medidas de comprimento e dimensões da matéria prima, sendo os comprimentos 6.000mm,

13.000mm, 12.000, e 12.400mm respectivamente. A seguir na figura 6 relaciona-se às possíveis programações de corte da matéria prima 6.000mm e dimensões 80x80x4,75 (Tubo A).

Figura 6 – Plano de corte da matéria prima 6.000mm e dimensões 80x80x4,75

Matéria-prima 6000mm 80x80x4,75										
Comprimento do tubo cortado (mm)	Programação de cortes									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2835	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3060	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
3220	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3282	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
3505	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
3765	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
3987	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
4210	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
4655	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Desperdício (mm)	3165	2940	2780	2718	2495	2235	2013	1790	1345	105

Fonte: O Autor, 2020

Este plano de corte representa o cenário atual para os cortes do “tubo A”, indicando os possíveis cortes, aproveitando a matéria prima de 6.000mm. Os valores dispostos na primeira coluna representam o comprimento dos cortes, já no restante das colunas estão os 10 planos de corte possíveis para esses comprimentos de cortes considerando a matéria prima de 6.000mm. Os números dispostos em cada coluna representam quantos tubos de cada tipo de comprimento, poderão ser cortadas para a programação de corte. Na última linha (Desperdício mm) consta o desperdício gerado com a programação de cada corte. Neste caso, com relação ao tubo A, foram evidenciados 10 possíveis planos de cortes.

Nas figuras 7 e 8 estão representados os planos de cortes x1 e x10, do plano de corte mostrado anteriormente, para ilustrar estas duas opções de corte.

Figura 7 – Plano de corte x1 para tubo A



Fonte: O Autor, 2020

Nesta figura 7 tem-se representado o plano de corte x1, onde na ilustração (A) representa-se a matéria prima do tubo de 6.000mm e na ilustração (B) representa-se o tubo cortado, resultando em um item de 2.835mm (metal) e um desperdício de 3.165mm (bronze).

Figura 8 – Plano de corte x10 para tubo A



Fonte: O Autor, 2020

Nesta figura 8 tem-se representado o plano de corte x10, onde na ilustração (A) representa-se a matéria prima do tubo de 6.000mm e na ilustração (B) tem-se o tubo cortado resultando em dois itens, um de 2.835mm (metal), outro de 3.060mm (metal), resultando em um desperdício de 105mm (bronze).

A seguir na figura 9 constam as informações das possíveis programações de corte da matéria prima 13.000mm e dimensões 110x150x6,35.

Figura 10 – Plano de corte da matéria prima 12.000mm e dimensões 100x100x6,35

Matéria-prima 12000mm 100x100x6,35									
Comprimento do tubo cortado (mm)	Programação de cortes								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
8160	1	0	0	0	0	0	0	0	0
8610	0	1	0	0	0	0	0	0	0
8930	0	0	1	0	0	0	0	0	0
9055	0	0	0	1	0	0	0	0	0
9500	0	0	0	0	1	0	0	0	0
10020	0	0	0	0	0	1	0	0	0
10465	0	0	0	0	0	0	1	0	0
10910	0	0	0	0	0	0	0	1	0
11800	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Desperdício (mm)	3840	3390	3070	2945	2500	1980	1535	1090	200

Fonte: O Autor, 2020

O plano de corte mostrado anteriormente representa o cenário atual para os cortes do “Tubo C”, indicando os possíveis cortes, aproveitando a matéria prima de 12.000mm. Nesta situação, com relação ao tubo C, foram possíveis realizar 9 planos de cortes nos 9 comprimentos de tubos possíveis.

A seguir, a figura 11 relaciona as informações das possíveis programações de corte da matéria prima 12.400mm e dimensões 100x100x8,00.

4.4 FORMULAÇÃO DOS MODELOS MATEMÁTICOS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA PARA MINIMIZAÇÃO DE DESPERDÍCIOS

Para poder minimizar os desperdícios da matéria prima, elaborou-se os modelos matemáticos para cada um dos planos de corte elaborados neste estudo, considerando as dimensões, comprimento e a demanda do mês de maio de 2020. Os cortes foram programados para que não sejam gerados estoques desnecessários, evitando que se utilize espaço físico e que itens corram o risco de ficarem obsoletos.

A seguir na figura 12 o modelo matemático referente ao plano de corte do tubo A, com dimensões de 6.000mmm e 80x80x4,75.

Figura 12 – Modelo matemático para tubo A

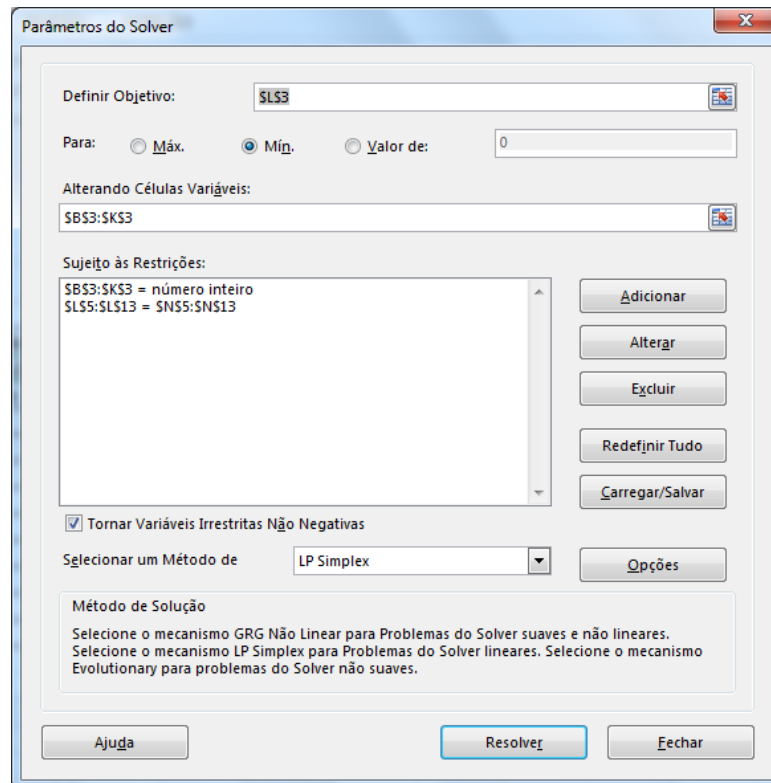
$$\begin{aligned} & \text{Minimizar } Z = 3615x_1 + 2940x_2 + 2780x_3 + 2718x_4 + 2495x_5 + 2235x_6 + 2013x_7 + 1790x_8 + 1345x_9 + 105x_{10} \\ & \text{Sujeito a:} \\ & 2835 \quad x_1 + x_{10} = 0 \quad (1) \\ & 3060 \quad x_2 + x_{10} = 0 \quad (2) \\ & 3220 \quad x_3 = 2 \quad (3) \\ & 3282 \quad x_4 = 4 \quad (4) \\ & 3505 \quad x_5 = 2 \quad (5) \\ & 3765 \quad x_6 = 0 \quad (6) \\ & 3987 \quad x_7 = 0 \quad (7) \\ & 4210 \quad x_8 = 6 \quad (8) \\ & 4655 \quad x_9 = 4 \quad (9) \\ & \text{Não Negatividade } x_1; x_2; x_3; x_4; x_5; x_6; x_7; x_8; x_9; x_{10} \geq 0 \text{ e inteiro} \end{aligned}$$

Fonte: O Autor, 2020

Nesta figura 12 tem-se a linha Minimizar Z, que informa os desperdícios de cada plano de corte (x_1 , x_2 etc). Abaixo de “sujeito a” encontram-se as restrições do modelo matemático, as quais representam as medidas dos cortes utilizados neste modelo de tubo. Na última linha consta a restrição da não negatividade, a qual indica que as variáveis devem assumir valores maiores ou iguais a zero e serem inteiros. Tem-se também a informação da demanda de tubos referentes ao período estudado, que no caso da equação “(1)” é 0 e no caso da equação “(8)” por exemplo, é 6, com base na quantidade de tubos necessários para atender a demanda de equipamentos do mês analisado.

Após elaborar o modelo matemático e dispor ele no Excel, os dados foram inseridos no suplemento solver, conforme mostra a figura 13.

Figura 13 – Tela do suplemento solver com informações inseridas



Fonte: O Autor, 2020

Nesta figura 13 tem-se os parâmetros que são necessários ser inseridos para que o solver consiga calcular o desperdício. No campo definir objetivo, foi inserida a célula onde indica o desperdício total, indicando na sequência abaixo que busca-se a minimização, em seguida, seleciona-se as células variáveis que irão indicar quais e quantos cortes devem ser feitos em cada plano. Quanto as restrições, foram selecionadas as células do material utilizado e demanda, indicando que devem ser iguais para que não se produza estoques. Por último, foi selecionado o método LP Simplex, e após resolveu-se o modelo matemático. Este procedimento foi realizado para cada modelo matemático, buscando as informações de desperdício e quais planos de corte deveriam ser produzidos em cada modelo de tubo.

A seguir tem-se o modelo matemático após a resolução do solver, que indica quais cortes devem ser feitos para que se minimize o desperdício da matéria prima 6.000mm e dimensões 80x80x4,75, na figura 14.

Figura 14 – Modelo matemático da matéria prima 6.000mm e dimensões 80x80x4,75

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	Desperdício		
Minimizar Z	3165	2940	2780	2718	2495	2235	2013	1790	1345	105			
Células Variáveis	0	0	2	4	2	0	0	6	4	0	37.542		
Sujeito a											Utilizado		Demanda
2835	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	=	0
3060	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	=	0
3220	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	=	2
3282	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4	=	4
3505	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	=	2
3765	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	=	0
3987	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	=	0
4210	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	6	=	6
4655	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	4	=	4

Fonte: O Autor, 2020

Neste caso, deve-se fazer 2 cortes do plano x3; 4 cortes do plano x4; 2 cortes do plano x5; 6 cortes do plano x8; e 4 do plano x9, obtendo um desperdício mínimo de 37.542mm. O desperdício de 37.542mm representa um percentual de 34,76% de desperdício do total de tubos utilizados para esta demanda (18 tubos x 6.000 mm).

A seguir, na figura 15, tem-se o modelo matemático, que indica quais cortes devem ser feitos para que se minimize o desperdício da matéria prima 13.000mm e dimensões 110x150x6,35.

Figura 16 – Modelo matemático da matéria prima 12.000mm e dimensões 100x100x6,35

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9			
Minimizar Z	3840	3390	3070	2945	2500	1980	1535	1090	200	Desperdício		
Células Variáveis	0	0	1	2	1	0	0	3	2	15.130		
Sujeito a											Utilizado	Demanda
8160	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=	0
8610	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	=	0
8930	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	=	1
9055	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	=	2
9500	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	=	1
10020	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	=	0
10465	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	=	0
10910	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	=	3
11800	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	=	2

Fonte: O Autor, 2020

Para este modelo, deve-se fazer 1 corte do plano x3; 2 cortes do plano x4; 1 corte do plano x5; 3 cortes do plano x8; 2 do plano x9; obtendo um desperdício mínimo de 15.130mm. O desperdício de 15.130mm representa um percentual de 14% de desperdício do total de tubos utilizados para esta demanda (9 tubos x 12.000 mm).

A figura 17 mostra o modelo matemático, que indica quais cortes devem ser feitos para que se minimize o desperdício da matéria prima 12.400mm e dimensões 100x100x8,00.

Propõe-se para a empresa que utilize apenas a matéria prima de 12.000mm. Neste sentido, no “tubo A” que atualmente utiliza a matéria prima de 6.000mm observa-se uma oportunidade de melhoria, caso a empresa passe a utilizar a matéria prima de 12.000mm.

A figura 18 mostrada a seguir, relaciona as possíveis programações de corte da matéria prima 12.000mm e dimensões 80x80x4,75.

Figura 18 – Plano de corte da matéria prima 12.000mm e dimensões 80x80x4,75

Matéria-prima 12000mm 80x80x4,75																																																			
Comprimento do tubo cortado (mm)	Programação de cortes																																																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45						
2835	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3060	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3220	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3282	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3505	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0		
3765	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	
3987	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0		
4210	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	
4655	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1		
Desperdício	9165	8940	8780	8718	8495	8235	8013	7790	7345	6105	5945	5883	5560	5400	5178	4955	4510	5720	5658	5435	5175	4953	4730	4285	5498	3275	5015	4793	4570	4125	5213	4953	4731	4508	4063	4730	4508	4285	3840	4248	4025	3580	3803	3558	3135						

Fonte: O Autor, 2020

Neste caso, o plano de corte representa o cenário futuro, caso a empresa opte por utilizar matéria prima de 12.000m para os cortes do “Tubo A”, indicando os possíveis cortes, aproveitando a matéria prima de 12.000mm. Com relação ao tubo A, foram possíveis programar 45 planos de cortes nos 9 comprimentos de tubos utilizados com esta matéria prima. Com a MP de 6.000mm eram apenas 10 possibilidades.

A seguir a figura 19 mostra o modelo matemático, que indica quais cortes devem ser feitos para que se minimize o desperdício da matéria prima de 12.000mm e dimensões 80x80x4,75.

Figura 19 – Modelo matemático da matéria prima 12.000mm e dimensões 80x80x4,75

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19	x20	x21	x22	x23	x24	x25	x26	x27	x28	x29	x30	x31	x32	x33	x34	x35	x36	x37	x38	x39	x40	x41	x42	x43	x44	x45	Desperdício								
Minimizar Z	9185	8940	8780	8718	8495	8235	8013	7790	7345	6105	5945	5883	5580	5400	5178	4955	4510	5720	5658	5435	5175	4953	4730	4285	5498	3275	5015	4793	4570	4125	5213	4953	4731	4508	4083	4730	4508	4285	3840	4248	4025	3580	3803	3558	3135	33.542								
Células Variáveis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	33.542						
Sujeito a																																													Utilizado	Demanda								
2835	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	= 0			
3060	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	= 0	
3220	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	= 2
3282	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	= 4	
3505	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	= 2	
3765	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	= 0		
3987	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	= 0		
4210	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	6	= 6
4655	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	4	= 4

Fonte: O Autor, 2020

Para este modelo, deve-se fazer 2 cortes do plano x26; 3 cortes do plano x34; 1 corte do plano x35; 2 cortes do plano x45, obtendo um desperdício mínimo de 33.542mm. O desperdício de 33.542mm representa um percentual de 14% de desperdício do total de tubos utilizados para esta demanda (9 tubos x 12.000 mm), tendo uma diminuição de 20,76% em relação a situação anterior, a qual era de 37.542mm.

Para o Tubo B, que atualmente utiliza matéria prima de 13.000mm de comprimento, observa-se uma oportunidade de melhoria, evidenciada em um novo plano de corte e modelo matemático, caso a empresa passe a utilizar matéria prima de 12.000mm.

A figura 20 mostrada a seguir, relaciona as possíveis programações de corte da matéria prima 12.000mm e dimensões 110x150x6,35.

Figura 22 – Plano de corte da matéria prima 12.000mm e dimensões 100x100x8,00

Matéria-prima 12000mm 100x100x8,00																																																							
Comprimento do tubo cortado (mm)	Programação de cortes																																																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50					
3216	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3674	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4094	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
4624	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0		
5024	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0		
5514	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	
6024	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0
6464	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	
6884	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0		
7354	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0			
7694	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Desperdício (mm)	8784	8326	7906	7376	6976	6486	5976	5536	5116	4646	4306	5110	4690	4160	3760	3270	2760	2320	1900	1430	1090	4232	3702	3302	2812	2302	1862	1442	972	632	3282	2882	2392	1882	1442	1022	552	212	2352	1862	1352	912	492	22	1462	952	512	92	462	22					

Fonte: O Autor, 2020

Neste caso, o plano de corte representa o cenário futuro, caso a empresa opte por utilizar matéria prima de 12.000m para os cortes do “Tubo D”, indicando os possíveis cortes, aproveitando a matéria prima de 12.000mm. Com relação ao tubo D, foram possíveis programar 50 planos de cortes nos 11 comprimentos de tubos utilizados com esta matéria prima. Com a MP de 12.400mm tem-se 53 possibilidades.

A seguir a figura 23 mostra o modelo matemático, que indica quais cortes devem ser feitos para que se minimize o desperdício da matéria prima de 12.000mm e dimensões 100x100x8,00.

Figura 23 – Modelo matemático da matéria prima 12.000mm e dimensões 100x100x8,00

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19	x20	x21	x22	x23	x24	x25	x26	x27	x28	x29	x30	x31	x32	x33	x34	x35	x36	x37	x38	x39	x40	x41	x42	x43	x44	x45	x46	x47	x48	x49	x50	Desperdício		
Minimizar Z	8784	8326	7906	7376	6976	6486	5976	5536	5116	4646	4306	5110	4690	4160	3760	3270	2760	2320	1900	1430	1090	4232	3702	3302	2812	2302	1862	1442	972	632	3282	2882	2392	1882	1442	1022	552	212	2352	1862	1352	912	492	22	1462	952	512	92	462	22			
Células Variáveis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	2	1	8	0	2	0	0	21.738	
Sujeito a												1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Utilizado	
3216	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		
3674	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0		
4094	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	
4624	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	
5024	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	13
5514	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		
6024	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	
6464	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
6884	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
7354	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
7694	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	

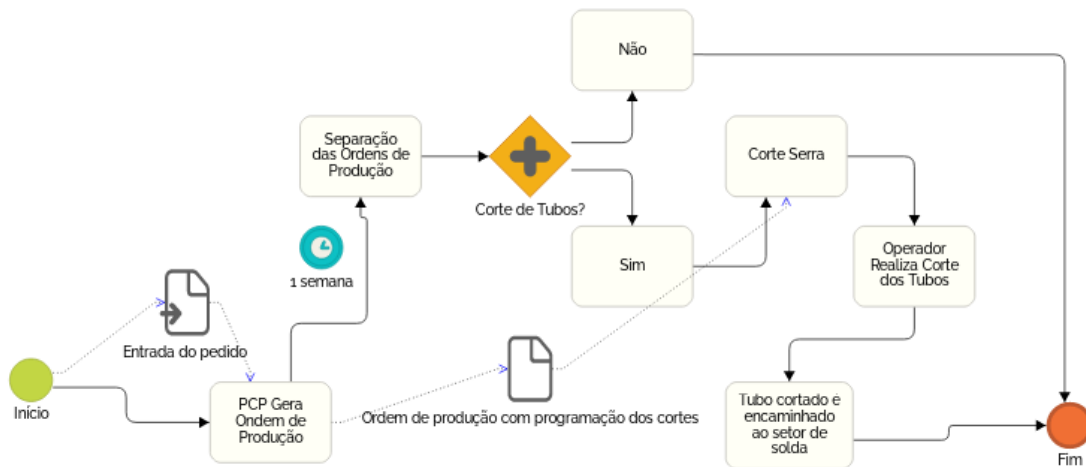
Fonte: O Autor, 2020

Para este modelo, deve-se fazer 1 corte do plano x11; 1 corte do plano x21; 2 cortes do plano x32; 6 cortes do plano x38; 2 cortes do plano x44; 1 do x45; 8 cortes do plano x46; 2 cortes do x48, obtendo um desperdício mínimo de 21.738mm. O desperdício de 21.738mm representa um percentual de 7,8% de desperdício do total de tubos utilizados para esta demanda (23 tubos x 12.000 mm), tendo uma diminuição de 3% em relação a situação anterior, a qual era de 30.938mm.

4.5.1 Fluxograma do processo otimizado

Com este estudo evidenciou-se que, caso a atividade de planejamento dos cortes que atualmente é realizada pelo operador do processo de corte, for retirada desta área e passada para o PCP que passará a entregar o plano de cortes junto da ordem de produção, fazendo com que o operador realize os cortes de maneira que minimize os desperdícios. A seguir na figura 24 consta a proposição de um novo fluxograma do processo de corte de tubos.

Figura 24 – Proposição de novo fluxograma do processo de corte de tubos



Fonte: O Autor, 2020

Essa proposição de fluxograma apresenta as informações, desde a entrada do pedido até o corte dos tubos, que iniciará com o recebimento do pedido pela equipe de PCP. Após o recebimento dos pedidos a equipe realizará a geração das ordens de produção e com as informações de demanda irá realizar o planejamento dos cortes. Estas ordens de produção (OP) contém informações como medidas, espessura de tubo, local de armazenamento da matéria-prima entre outras e o planejamento de cortes irá indicar quantidades e quais tubos devem ser cortados. As OP e os planos de corte serão encaminhados para o corte serra, responsável pelo corte desta da matéria prima, onde o operador irá receber a informação e realizar o processo.

Como a empresa possuirá os planos de corte estruturados, o operador ao receber a OP e o plano de corte não terá mais a necessidade de realizar o planejamento dos cortes semanais, deixando de utilizar cerca 1 hora por semana que levava para realizar esta atividade. Após os cortes realizados, os tubos são encaminhados para o setor de solda, onde ficam armazenados até que o operador da área receba as ordens de produção, utilizando-os para fazer a soldagem do chassis dos equipamentos.

Para que seja possível esta alteração no fluxograma no processo de cortes é necessário que a empresa passe a utilizar os planos de corte e que aplique os modelos matemáticos alterando somente a demanda conforme necessidade de

produção, recalculando os modelos matemáticos quando necessário para ter a informação de quantas e quais peças devem ser cortadas, para que tenha a minimização dos desperdícios de matéria prima.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o mercado atual competitivo, a busca por alternativas para se manter no mercado ou se destacar nele deve ocorrer dentro das indústrias. Para isso uma boa alternativa é a busca pela diminuição ou eliminação de desperdícios. Todo desperdício aumenta o custo e não agrega valor ao produto sob a visão do cliente. Desta forma, é imprescindível que as indústrias busquem pela minimização ou eliminação de quaisquer desperdícios existentes em seus processos, sejam eles em matéria prima ou no tempo de mão de obra, entre outros. Neste sentido, realizou-se este estudo em uma indústria a fim de minimizar desperdícios de cortes de matéria prima.

O objetivo geral deste trabalho foi “elaborar modelos matemáticos de programação linear inteira para minimização de desperdícios de matéria prima no processo de corte de tubos”. Desta forma, foram coletadas informações com o gerente industrial e com um dos analistas de PCP, buscando informações sobre a demanda, as medidas dos cortes e as medidas da matéria prima. Para atingir o objetivo geral foi necessário atingir cada um dos objetivos específicos propostos para o estudo. Inicialmente, foi estruturado o fluxograma atual do processo produtivo de corte de tubos utilizados na fabricação do chassis dos equipamentos. A estruturação foi realizada através de entrevista com um dos analistas de PCP.

Na sequência, foram elaborados os planos de corte com base nas medidas dos tubos que são utilizados hoje como matéria prima pela empresa, tomando por base as informações de demanda do mês de maio de 2020 e as medidas dos cortes dos tubos utilizados para fabricação do chassis dos equipamentos.

Após, formulou-se os modelos matemáticos de programação linear inteira para a minimização dos desperdícios. Por fim, foi possível propor sugestões de melhorias para otimização de recursos de matéria prima, onde sugere-se que a empresa passe a comprar tubos de 12.000mm para os 4 modelos de tubo, desta maneira irá diminuir os desperdícios de matéria prima.

Também, sugere-se à empresa que utilize os planos de corte elaborados para que o operador do processo de corte não tenha mais que dedicar 1 hora do seu tempo por semana, para o planejamento dos cortes semanais e para que se tenha o menor desperdício de matéria prima possível, realizando somente os cortes necessários sem deixar estoques desnecessários. Desta maneira, tem-se um novo

fluxograma do processo de cortes, mudando a atividade que antes era do operador de corte para a área de PCP, que irá enviar os planos de corte junto das ordens de produção.

O problema de pesquisa deste estudo é: “de que forma é possível minimizar o desperdício de matéria prima na indústria aplicando modelos matemáticos de programação linear inteira?” e ele é respondido através da elaboração de planos de corte e modelos matemáticos de programação linear inteira que trazem como resultado o menor desperdício possível, utilizando para realização dos cálculos o suplemento solver do Excel.

Com relação as hipóteses, foram estabelecidas três para este estudo. Uma delas é: “A falta de um planejamento bem definido para os cortes de tubos utilizados na produção do produto final, resulta em desperdício da matéria prima”. A hipótese se confirma, pois os desperdícios são evidentes, uma vez que são utilizados comprimentos de matéria prima diferentes para cada modelo de tubo evidenciando desperdícios no “tubo A” de 37,8%, no “tubo B” de 13,9% e no “tubo C” de 10,8%.

A hipótese “Com a utilização da programação linear inteira os desperdícios podem ser reduzidos ou até mesmo eliminados, gerando um melhor resultado para a empresa;” também se confirma, visto que os desperdícios foram reduzidos, porém não sendo possível elimina-los por completo, devido as medidas dos itens cortados não serem medidas inteiras.

A hipótese “Substituir as matérias-primas de 6.000mm, 12.400mm e 13.000mm para 12.000mm, irá reduzir significativamente os desperdícios.” se confirma, pois, após os cálculos dos modelos matemáticos realizados baseados nos planos de corte que utilizam como matéria prima tubos de 12.000mm, apresentaram redução considerável dos desperdícios.

A realização deste estudo ocorreu durante a pandemia do COVID-19, que impossibilitou que fossem realizadas visitas físicas na empresa para observação dos processos e entrevistas pessoais com os colaboradores. Isto limitou o estudo, pois dificultou a obtenção dos dados, porém não impossibilitou a realização do estudo, uma vez que todas as informações solicitadas foram prontamente repassadas de forma virtual.

Como sugestão de trabalhos futuros, pode-se citar a aplicação da programação linear inteira nos outros processos de manufatura da empresa,

buscando a diminuição de desperdícios tanto no tempo de mão de obra, quanto em matéria prima.

REFERÊNCIAS

- CHERRI, A. C. **O Problema de corte de estoque com reaproveitamento das sobras de Material**. 2006. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Matemáticas e de Computação) – Universidade de São Paulo, USP: São Carlos, 2006. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/55/55134/tde-17052006-131244/publico/DisMestradoDri.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2020.
- CORRÊA, H. L.; CORRÊA.C. A. **Administração de Produção e Operações**. 4. ed. São Paulo, Atlas, 2017. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597013146/cfi/6/2!/4/2@0:0>>. Acesso em: 16 jul. 2020.
- DYCKOFF, H. **A typology of cutting and packing problems**. European Journal Operational Research, 44: 145-159, 1990.
- ESTEVES, E. F.; MOURA, L. S. Avaliação de Desperdícios Perdas de Matéria-Prima no Processo Produtivo de uma Fábrica de Bebidas. In: **Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**, 2010. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos10/416_Edmilson_segetFINAL.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2020.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. Porto Alegre: AMGH, 2013. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580551198/cfi/0!/4/2@100:0.00>>. Acesso em: 07 ago. 2020.
- LACHTERMACHER, Gerson. **Pesquisa operacional na tomada de decisões**. 5. ed. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2016. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521630494/>>. Acesso em: 06 Jul 2020.
- MOREIRA, Daniel Augusto. **Administração da Produção e Operações** 2. ed. Revista e Ampliada. São Paulo: Cengage Learning Brasil, 2012. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522110193/>>. Acesso em: 06 Jul 2020.
- OHNO, Taiichi. **O sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.
- PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. **Metodologia do trabalho científico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.
- SANTOS, A. F.; LOZADA, G. JORDAO, E. A.; SILVA, G. G. R.; AFFONSO, L. M. F. **Planejamento e Controle de Produção**. Porto Alegre: Sagah, 2020. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786556900735/>>. Acesso em: 08 nov. 2020.

SANTOS, Juliana Carolina de Oliveira. **Redução de desperdício no processo de corte de vidros via programação linear inteira**: um estudo de caso em uma empresa do centro-oeste de Minas Gerais. Trabalho de Conclusão de Curso. Minas Gerais: UNIFOR, 2014. Disponível em: <<https://repositorioinstitucional.uniforg.edu.br:21074/xmlui/handle/123456789/280>>. Acesso em: 24 jul. 2020.

SILVA, E. M.; SILVA, E. M.; GONÇALVES, V.; MUROLO, A. C. **Pesquisa Operacional - Para os Cursos de Administração e Engenharia**. 5. ed. São Paulo: Atlas, Grupo GEN, 2017. Disponível em: <[https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597013559/cfi/6/2!/4/2@0:0](https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597013559/cfi/6/2!/4/2@0:0>)>. Acesso em: 06 jul. 2020.

SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2018. Disponível em: <[https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597015386/cfi/6/2!/4/2@0:00](https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597015386/cfi/6/2!/4/2@0:00>)>. Acesso em: 06 jul. 2020.