LI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional
Limeira–SP, 02 a 06 de setembro de 2019

# O PROBLEMA DE CORTE DE ESTOQUES APLICADO EM UMA INDÚSTRIA DE EMBALAGENS FLEXÍVEIS

**Bruna Strapazzon do Couto**
Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA
Av. Maria Anunciação Gomes Godoy, 1650 – Malafaia, Bagé, RS – Brasil, 96460-000
brunascouto9@gmail.com

**Lucas Schmidt Goecks**
Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS
Av. Unisinos, 950 – Cristo Rei, São Leopoldo, RS – Brasil, 93020-190
lucas_goecks@hotmail.com

**Ismael Becker Gomes**
Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS
Av. Unisinos, 950 – Cristo Rei, São Leopoldo, RS – Brasil, 93020-190
ismael.becker@hotmail.com

**André Luis Korzenowski**
Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS
Av. Unisinos, 950 – Cristo Rei, São Leopoldo, RS – Brasil, 93020-190
akorzenowski@unisinos.br

**RESUMO**

A busca pela competitividade exige que as organizações otimizem seus processos. Torna-se, então, necessária a gestão de estoques, visando controlar os custos envolvidos. Esta pesquisa tem como objetivo comparar possíveis formas de estocagem e propor uma solução factível para os desperdícios de matéria prima e custos de estoque em uma indústria de embalagens flexíveis. Utilizou-se a pesquisa operacional para análise quantitativa. As técnicas de programação linear e Problema de Corte de Estoques (PCE) são aplicadas. Os resultados mostram que, após a comparação dos modelos de gestão: manutenção do modelo de gestão atual; padronização dos cortes de material; manutenção do estoque no fornecedor; o modelo que mais se adequou ao caso analisado foi o da padronização dos cortes de material. Com isso, concluiu-se que a pesquisa operacional contribui para o planejamento de estoque de uma indústria. Ao final, pesquisas futuras são apontadas visando o aprimoramento e expansão dos resultados desta pesquisa.

**PALAVRAS CHAVE. Gestão de Estoque, Indústria de Embalagens, Problema de Corte de Estoque (PCE).**

**POI — PO na Indústria**
**ADM — Apoio à Decisão Multicritério**

**ABSTRACT**

https://proceedings.science/p/106865?lang=pt-br

The pursuit for competitiveness requires organizations to optimize their processes. It is then necessary to manage inventory, in order to control the costs involved. This research aims to compare possible forms of storage and propose a feasible solution for raw material waste and inventory costs in a flexible packaging industry. Operational research was used for quantitative analysis. Linear programming techniques and Stock Cutting Problem (SCP) are applied. The results show that after the comparison of management models: maintenance of the current management model; standardization of material cuts; inventory maintenance at the supplier; the model that best fits the case analyzed was the standardization of material cuts. With this, it was concluded that operational research contributes to the inventory planning of an industry. In the end, future research is aimed at improving and expanding the results of this research.

**KEYWORDS. Stock Management. Packaging industry. Cutting Stock Problem (CSP).**

**ORI – Operacional Research in Industry**
**SMD – Support for the Multicriteria Decision**

## 1. Introdução

O mercado de embalagens movimenta diariamente grande parte dos produtos comercializados no Brasil. As operações neste setor demandam destaque no que diz respeito à sua eficiência, velocidade e qualidade dos serviços, pois a deficiência destes pode afetar diretamente nos custos operacionais e, consequentemente, no custo final dos produtos embalados [Mestriner, 2015]. Este setor possui operações globais capazes de atender aos diferentes mercados, o que exige uma produção cada vez mais enxuta, com produtos de alta qualidade que reflitam em reconhecimento para a empresa. [Corrêa e Gianesi, 1993] afirmam que a redução do custo de manutenção de estoques é essencial no sucesso de uma empresa. Assim, a gestão das matérias-primas é de suma importância, devendo ser bem planejada e executada, o que envolve fatores de decisão tais como, a redução de seus níveis, a negociação com os fornecedores de matéria-prima e a padronização das mesmas.

Segundo [Delorme et al., 2016], entre as indústrias que mais enfrentam problemas de corte, encontram-se aquelas que envolvem nos seus processos bobinas de plástico, bobinas de papel, barras de aço, placas metálicas e de madeira, chapas de vidro e peças de couro. Desta forma, a gestão de estoques no ramo das embalagens plásticas flexíveis torna-se interessante também no aspecto acadêmico, visto que o estudo dos cortes de estoque neste setor ainda é pouco discutido.

O presente estudo justifica-se na medida em que possibilita o bom gerenciamento de estoques da indústria em evidência – armazenamento e padronização. A construção de um modelo matemático permite o estudo de alternativas para minimizar a perda e os custos de transporte e manipulação de material, o que, consequentemente, possibilita alavancar os lucros da empresa. Como há um custo para cada retalho retornar ao estoque, a quantidade de retalhos gerados também deve ser minimizada [Koch et al., 2009].

Assim, a utilização de uma metodologia adequada para mensurar os problemas acarretados pelo mau planejamento dos estoques se torna muito importante. A pesquisa operacional, aplicada às operações industriais, auxilia na tomada de decisões e na otimização de recursos, no momento em que analisa as mais diversas soluções para a empresa e aponta aquelas mais eficientes através de modelos matemáticos e de simulação [Moreira, 2013]. Desta forma, o estudo teve como objetivo avaliar o método atual de gerenciamento de estoques de uma indústria gráfica de embalagens flexíveis propondo uma estratégia factível para a compra e utilização de bobinas plásticas. Foi

aplicado modelagem matemática para o Problema de Corte de Estoque (PCE), aliada aos estudos de custos de armazenamento de estoque.

Uma vez definido o tema e o objetivo geral da pesquisa, teve-se como princípio a busca pelo referencial teórico como instrumento de suporte. Nesta etapa, foram pesquisados artigos sobre métodos para o PCE e indústrias aplicadas, sendo estes encontrados nas seguintes bases de dados: *Google Scholar* e *SCOPUS* (por agrupar os principais editores de *Journals*), na identificação de artigos relacionados ao *gap* de pesquisa. As principais palavras-chave utilizadas foram: *"cutting stock problem"* e *"cutting stock problem"AND "flexible package"*, incluindo traduções equivalentes em língua portuguesa, no período de 2013 a 2018 (além de alguns artigos que serviram como base para o *gap* de pesquisa).

## 2. Problema de Corte de Estoque

Os problemas de geração de cortes ou problemas de corte de estoque (PCE) aparecem em diversos processos industriais. Segundo [Poldi e Arenales, 2010], este problema se assemelha ao caso do problema de empacotamento em vagões de trens, caminhões e navios. Neste contexto, a utilização da estratégia correta para o processo de corte promove a redução de custos e a melhoria da eficiência dos processos produtivos.

O PCE consiste em cortar objetos maiores disponíveis em estoque, de tamanhos e quantidades conhecidos, para atender uma demanda de itens menores, de tamanhos e quantidades especificados pelo cliente. Através da modelagem, definem-se os possíveis padrões de corte, que orientam o corte dos objetos para arranjar os itens resultantes, e também, as variáveis de decisão que representam o número de objetos a ser adquirido e cortado [Andrade, 2015]. Desta forma, busca-se otimizar uma determinada função objetivo que pode ser, por exemplo, minimizar o custo de estocar objetos e itens produzidos antecipadamente ou a perda do material [Kartak et al., 2015].

Este problema pode ser aplicado em diferentes ramos industriais, a partir de métodos variados de resolução. Segundo [Coelho et al., 2017], esta técnica era aplicada em organizações com alto nível de demanda e, caso as organizações possuíssem uma demanda relativamente baixa, deveriam aplicar heurísticas construtivas para uma solução mais rápida e simples, no entanto menos eficaz. Contudo, atualmente, uma série de técnicas foi desenvolvida para a resolução deste problema. De acordo com estudos de [Delorme et al., 2016], a programação linear se mostra um meio eficiente e preciso na busca pela melhor solução em relação aos problemas de corte de estoque. Ainda, como melhor solução aplicada aos problemas PCE multiperíodo, [Muter e Sezer, 2018] indicam o uso do método de linhas dependentes de coluna. Dentre estes, a programação linear encontra-se em maior destaque devido ao impacto dos resultados proporcionados. A Tabela 1 retrata alguns estudos do PCE nos últimos anos, seus locais de aplicação, bem como os métodos utilizados e os resultados gerados.

O resultado mais recorrente na padronização dos estoques se refere à minimização das perdas de matéria-prima, a partir da otimização dos cortes efetuados. Além deste, com base em análises de trabalhos anteriores, obtém-se através da aplicação do PCE a minimização dos custos de aquisição de matéria-prima, a minimização dos custos de produção e estocagem, a maximização dos lucros e a facilidade de adaptação do problema para outras restrições e materiais.

## 3. Método

Esta pesquisa classifica-se quanto a sua finalidade como aplicada, na qual é estudado o PCE de forma a comparar e selecionar a melhor alternativa para a gestão de estoques da indústria de embalagens. Ainda, caracteriza-se como estudo de caso exploratório experimental e documental, devido ao levantamento de dados da gestão de operações de estoque, a fim de melhor qualificar as alternativas identificadas para a solução do mesmo [Yin, 2015]. Este pesquisa tem abordagem

https://proceedings.science/p/106865?lang=pt-br

Tabela 1: Aplicações, métodos e resultados do PCE

| Autor | Indústria | Método | | Resultados | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PL | MH | a | b | c | d | e | f |
| [Moreira, 2013] | Metalúrgica | x | | x | x | | | | |
| [Cherri et al., 2014] | AATM | x | x | x | | x | | | x |
| [Oliveira et al., 2014] | Papelaria | x | | x | | | | | |
| [Bonfim et al., 2015] | Moveleira | x | | x | x | | | | |
| [Rocha, 2015] | Moveleira | x | | x | | | | x | |
| [Salvadeo e Bressan, 2015] | Moveleira | x | | | | x | | | |
| [Wavrzynczak et al., 2016] | Moveleira | x | | x | | | | x | |
| [Delorme et al., 2016] | Papelaria | x | | | | x | x | | |
| [Poltroniere et al., 2016] | Papelaria | | x | x | | x | x | | |
| [Ayres, 2017] | Papelaria | | x | | | x | | | |
| [Coelho et al., 2017] | Têxtil | x | | x | | | | | |
| 14 artigos entre 2013 e 2017 | Total | 9 | 3 | 8 | 2 | 5 | 2 | 2 | 1 |

Onde, AATM significa Automobilística/Aeronautica/Têxtil/Metalúrgica, PL é Programação Linear e MH corresponde a Meta-heurísticas. Resultados: a. Minimização das perdas de matéria-prima; b. Minimização dos custos de aquisição da matéria-prima; c. Minimização dos custos de produção; d. Minimização dos custos de estocagem; e. Maximização dos lucros; f. Facilidade de adaptação do problema.

quantitativa, embasada por processos de tomada de decisão e de modelagem [Gerhardt e Silveira, 2009].

O objetivo do projeto consistiu na proposição de solução ao problema apresentado, através da análise da gestão de estoques e das demandas, da classificação dos estoques e dos meios de produção, além da aplicação de modelos matemáticos. Esta decisão apoia-se no conhecimento gerado pela aplicação prática e seus resultados são validados a partir do estudo de múltiplos casos. A Figura 1 ilustra as etapas da execução de cada uma das fases definidas para o trabalho.

A fase 1 é composta pela etapa 1, na qual definiu-se uma área de interesse da Engenharia de Produção a ser abordada no projeto e uma empresa para aplicação prática dos conhecimentos. Uma problematização que relacione os dois itens anteriormente citados foi elencada de acordo com as necessidades da empresa.

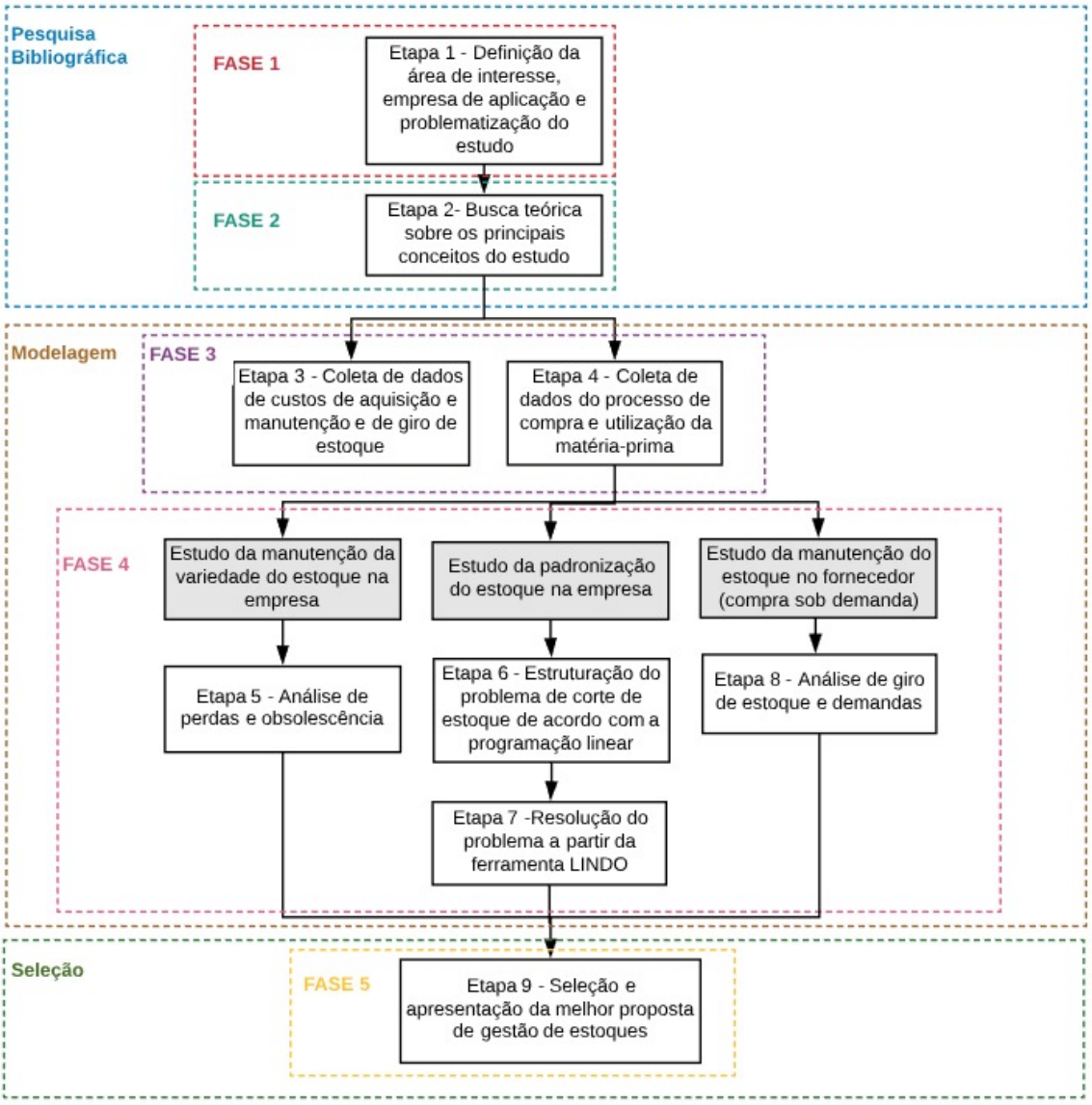
A fase 2 é representada pela etapa 2, na qual os principais conceitos ligados à problematização foram definidos. O objetivo desta etapa foi o esclarecimento dos conceitos e a possibilidade de comparações em relação ao problema a ser estudado.

A fase 3 se definiu pela execução das etapas 3 e 4. A etapa 3 se referiu a coleta de informações ligadas ao custo de manutenção, de aquisição e giro de estoque. A etapa 4 tratou dos dados relacionados ao processo de compra e utilização da matéria-prima nos mais diferenciados produtos fabricados. O conhecimento destes aspectos tornou-se imprescindível para o sequenciamento do estudo proposto.

Na fase 4, as três alternativas de alocação de estoques foram estudadas. Primeiramente, para a manutenção da variedade do estoque na empresa foi executada a etapa 5, que tratou da análise de perdas e obsolescência. Para o estudo da padronização do estoque na empresa, a etapa 6 trouxe a estruturação do problema de corte de estoque de acordo com a programação linear e a etapa 7 propôs sua resolução a partir da ferramenta LINDO. Já para o estudo da manutenção do estoque no fornecedor (aquisição de matéria-prima apenas sob demanda), a etapa 8 referiu-se à análise de custos e giro de estoque, a fim de eliminar os estoques mantidos na empresa.

Por fim, a fase 5, etapa 9, foi concluída com a análise e decisão da melhor proposta de gestão de estoques para a empresa de embalagens. Sendo ela definida pela interpretação dos custos

Figura 1: Fluxo detalhado das fases do trabalho




relacionados com o tipo de estoque, o que a literatura recomenda e as necessidades/características da empresa. Desta maneira, definiu-se quantitativamente, e embasado pela literatura, qual a melhor proposta para a gestão de estoque. A mesma passou por avaliação dos gestores da empresa, resultando na maximização dos lucros.

## 4. Apresentação e Análise dos Resultados

Visitas técnicas foram realizadas na indústria a fim de expandir os conhecimentos sobre os processos de fabricação de embalagens plásticas, os custos, as matérias primas e os métodos envolvidos. Por meio do *software* de controle no qual todos os processos internos e externos da empresa são registrados, obtiveram-se os relatórios de compras e vendas de embalagens selecionados para análise no intervalo de um ano, do mês de outubro de 2017 até outubro de 2018, visto que a produção é consideravelmente influenciada pela sazonalidade. Uma vez a tipologia de plástico polipropileno

biorientado (BOPP) identificada como a mais requisitada nos pedidos da indústria, priorizaram-se informações a respeito da sua aquisição, tratamento e expedição. O custo de aquisição do BOPP é elevado e os fornecedores são escassos. Assim, a indústria encontra-se estrategicamente posicionada em relação a um dos principais fornecedores de BOPP do Brasil. Apesar deste fato, a empresa faz a aquisição deste insumo com grande antecedência e em grande quantidade, devido às ofertas de seus fornecedores, resultando no acúmulo de estoque.

Foram coletados dados referentes aos materiais parados em estoque. Constatou-se que a empresa possui um estoque de bobinas plásticas inutilizadas. Bobinas estas que foram adquiridas há vários anos e ainda não possuíram oportunidade de aplicação. Justifica-se a quantidade de estoque pela falta de controle no momento da aquisição de bobinas plásticas, gerando o hábito da compra em grandes volumes devido ao baixo preço oferecido pelos fornecedores durante suas promoções. Estes dados revelam que 75.300 kg em bobinas de BOPP compõem o estoque da indústria atualmente, dentre os quais 1.127 kg representam um estoque obsoleto, ou seja, formado por bobinas que se encontram paradas por mais de 90 dias. Obteve-se o dado histórico de que o custo médio de um quilo de BOPP parado em estoque é de R$6,56, assim, tem-se o custo de R$493.968,00 para o estoque total e R$7.393,12 para o obsoleto. Desta forma, o estoque torna-se um fator preocupante à lucratividade da empresa.

Uma vez analisados os dados de vendas pelo período de um ano, constatou-se que o BOPP constituiu 78 larguras e 4 gramaturas diferentes. Desta forma, foi executada avaliação visando diminuir esta variedade. Visto que as bobinas plásticas de embalagem que utilizam BOPP como constituinte apresentam em 93,57% dos casos a gramatura de 18 g/$m^2$, esta medida foi considerada padrão para o estudo, desconsiderando-se aquelas diferentes à mesma. Já para as larguras, observaram-se as principais medidas demandadas pelos clientes, a fim de classificar apenas seis larguras possíveis para a aquisição por parte da indústria, para facilitar a aplicação do modelo matemático que representa uma das alternativas de gestão de estoque a serem estudadas. A classificação também considerou a disponibilidade dos principais fornecedores da indústria e o processo de compra equivalente, englobando forma de pagamento, frete e agilidade no faturamento.

A partir da coleta de dados juntamente à indústria, do conhecimento dos seus principais fornecedores, clientes, restrições e oportunidades, tornou-se possível o estudo das diferentes formas de alocação de estoques propostas neste trabalho. Os modelos de gerenciamento de estoques serão apresentados abaixo. Assim faz-se o detalhamento dos dados e métodos utilizados, bem como resultados gerados. Primeiramente, fez-se a análise da manutenção da variedade do estoque na empresa, após, a análise da padronização do estoque nesta e, em última instância, a análise da manutenção do estoque no fornecedor.

### 4.1. Análise da manutenção da variedade do estoque na empresa

Para o estudo da manutenção da variedade do estoque na empresa, propôs-se manter os processos de compra, venda, corte e estocagem da maneira como se encontram atualmente na empresa. Ou seja, a compra de matéria-prima continuaria sendo feita sem controle, de acordo com as promoções propostas pelos fornecedores, o que significa em média um custo de R$8,30 por kg. Além da vantagem do baixo custo de compra de material, a disponibilidade de matéria-prima para a produção de embalagens também se apresenta como um ponto forte.

Consequentemente, em desvantagem, um alto nível de estoque obsoleto é gerado, que se aproxima de 1.127 kg de BOPP, o que equivale a um capital de R$7.393,12 parado na indústria, considerando o valor de compra da época da aquisição. Os cortes de bobinas ocorreriam, ainda, conforme as necessidades dos pedidos, com organização precária e alto nível de desperdício, equivalente a 144.495,20 m, ou 2.600,91 kg, de retalhos de BOPP por ano, o que representa R$5.201,83

em vendas para a reciclagem, mas, R$65.022,84 que poderiam ter sido agregados a empresa a partir da venda de embalagens. Ou seja, esta perda de material representa R$59.821,01 que a indústria deixa de lucrar com as embalagens produzidas. Desta forma, a indústria permaneceria com o valor de $2.715.183,15 investido em compras de BOPP (incluindo as larguras desperdiçadas) e R$3.716.548,69 obtidos através da venda de embalagens ao ano.

### 4.2. Análise da padronização do estoque na empresa

Para o estudo da padronização do estoque na empresa, aplica-se o problema de corte de estoque (PCE), a fim de procurar uma alternativa factível de corte de bobinas plásticas das larguras selecionadas para a aquisição em larguras menores solicitadas pelos clientes, quando necessário. Este método visa a aquisição padronizada da matéria-prima e a redução do desperdício de material durante a execução dos cortes. Assim, espera-se manter um custo baixo de compra de material e garantir uma boa lucratividade.

A fim de aproveitar ao máximo a matéria-prima, propôs-se um modelo matemático de programação linear relacionando os dados obtidos por meio da coleta na indústria. O modelo para resolução do PCE busca otimizar uma função objetivo, a fim de reduzir os desperdícios de matéria-prima e satisfazer a demanda. Este objetivo foi escolhido de forma a economizar e aumentar o lucro da empresa, visto que as sobras do processo, caso existam, são vendidas a terceiros para reciclagem, por um valor insignificativo.

Na compreensão do processo de fabricação do produto, verificou-se que o desperdício de matéria-prima é formado basicamente por um tipo de perda, a não utilização de larguras de bobinas de plástico que não alcançam as medidas desejadas. Definiu-se também que não haveria alteração no processo de fabricação da empresa, seguindo-se exatamente as etapas de fabricação atuais.

A maneira de cortar uma bobina é chamada de padrão de corte. Assim, no tópico a seguir são apresentados os padrões de cortes a serem considerados para a resolução do problema. Na sequência, propõe-se o modelo matemático e encontra-se a solução factível para a minimização das sobras de matéria-prima, obtendo-se o valor a ser economizado pela indústria a partir deste método.

#### 4.2.1. Padrões de corte

Consideraram-se os dados de compras e vendas coletados no período para a definição das diferentes combinações de largura a serem cortadas nas bobinas plásticas (padrões de corte) e formulação do problema. Ou seja, a existência de dez larguras diferentes de bobinas de BOPP que podem servir como matéria-prima para a fabricação das setenta e oito larguras diferentes de bobinas de embalagens demandadas. Assim, respeitando a condição de que os cortes programados não excedam as dimensões de bobina de plástico, observa-se que são várias as combinações de corte existentes para o problema. Desta forma, obteve-se uma planilha com 538 padrões de corte aplicáveis.

Segundo [Wavrzynczak et al., 2016], pode-se utilizar apenas alguns padrões de corte e segmentos para facilitar a aplicação e o entendimento do problema ou utilizá-los todos com uma formulação geral. Vista a enorme variedade de padrões de corte resultante e a complexidade do modelo, neste caso, diluíram-se os segmentos a serem gerados (larguras demandadas) em nove de acordo com a incidência de vendas e as qualificações dos clientes no período de estudo.

Na Tabela 2, gerou-se uma nova planilha de padrão de corte reduzida com 538 padrões de cortes (P) aplicáveis, evidenciando a quantidade de vezes que cada largura demandada, ou seja, cada segmento (S) aparece no padrão. Os segmentos de bobina plástica úteis, em milímetros, representam as larguras de bobinas de matéria-prima, já os segmentos utilizados, também em milímetros, correspondem à parcela de material aproveitada após os cortes. As sobras equivalem ao desperdício de material para cada combinação e também são representados em milímetros.

Entretanto, ainda é preciso definir os padrões a serem utilizados assim como a frequência desta utilização, sendo estas as variáveis de decisão para atender a demanda esperada por cada tipo de largura. Estas variáveis foram adicionadas à última coluna da planilha, possibilitando a posterior formulação do modelo de programação linear. Uma vez dado o valor da variável na resolução do modelo matemático, este representa a quantidade que deverá ser cortada segundo o padrão de corte com o qual a mesma é relacionada, de maneira a satisfazer as necessidades da indústria de forma eficiente. Por exemplo, a variável $x_{11}$ representa a utilização do padrão de corte $P_1$ a partir do segmento útil de 575 mm para o segmento utilizado de 475 mm, podendo ser relacionado com a quantidade de vezes que é possível extrair o segmento de 475 mm do segmento de 575 mm e, também, com a quantidade de sobra de 100 mm.

Tabela 2: Planilha simplificada de padrões de corte, segmentos e sobras geradas

| Segm. gerados/ Padrões de Corte | $S_1$ | $S_{14}$ | $S_{29}$ | $S_{43}$ | $S_{50}$ | $S_{55}$ | $S_{69}$ | $S_{73}$ | $S_{78}$ | Segm. útil | Segm. utilizado | Sobra | Variáveis |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $P_1$ | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 575 | 475 | 100 | $x_{11}$ |
| $P_{14}$ | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 575 | 575 | 0 | $x_{12}$ |
| $P_{28}$ | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 675 | 575 | 100 | $x_{22}$ |
| $P_{43}$ | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 675 | 675 | 0 | $x_{23}$ |
| $P_{83}$ | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 845 | 475 | 370 | $x_{31}$ |
| $P_{196}$ | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 845 | 575 | 270 | $x_{32}$ |
| $P_{211}$ | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 845 | 675 | 170 | $x_{33}$ |
| $P_{225}$ | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 845 | 755 | 90 | $x_{34}$ |
| $P_{232}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 845 | 800 | 45 | $x_{35}$ |
| $P_{237}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 845 | 825 | 20 | $x_{36}$ |
| $P_{242}$ | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 895 | 475 | 420 | $x_{41}$ |
| $P_{255}$ | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 895 | 575 | 320 | $x_{42}$ |
| $P_{270}$ | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 895 | 675 | 220 | $x_{42}$ |
| $P_{284}$ | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 895 | 755 | 140 | $x_{44}$ |
| $P_{291}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 895 | 800 | 95 | $x_{45}$ |
| $P_{296}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 895 | 825 | 70 | $x_{46}$ |
| $P_{310}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 895 | 895 | 0 | $x_{47}$ |
| $P_{311}$ | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 935 | 475 | 460 | $x_{51}$ |
| $P_{324}$ | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 935 | 575 | 360 | $x_{52}$ |
| $P_{339}$ | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 935 | 675 | 260 | $x_{53}$ |
| $P_{353}$ | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 935 | 755 | 180 | $x_{54}$ |
| $P_{360}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 935 | 800 | 135 | $x_{55}$ |
| $P_{365}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 935 | 825 | 110 | $x_{56}$ |
| $P_{379}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 935 | 895 | 40 | $x_{57}$ |
| $P_{383}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 935 | 935 | 0 | $x_{58}$ |
| $P_{459}$ | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 985 | 950 | 35 | $x_{61}$ |
| $P_{474}$ | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 985 | 575 | 410 | $x_{62}$ |
| $P_{489}$ | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 985 | 675 | 310 | $x_{63}$ |
| $P_{503}$ | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 985 | 755 | 230 | $x_{64}$ |
| $P_{510}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 985 | 800 | 185 | $x_{65}$ |
| $P_{515}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 985 | 825 | 160 | $x_{66}$ |
| $P_{529}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 985 | 895 | 90 | $x_{67}$ |
| $P_{533}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 985 | 935 | 50 | $x_{68}$ |
| $P_{538}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 985 | 985 | 0 | $x_{69}$ |

### 4.2.2. Modelo proposto

Para a formulação do modelo matemático de programação linear para o problema apresentado, utilizaram-se as demandas arredondadas de cada uma das principais larguras de bobina

plástica conforme os dados estabelecidos pela empresa, assim como as variáveis definidas em função da análise das possibilidades de corte verificadas. Estas demandas arredondadas, em metros, encontram-se após as igualdades nas restrições para cada largura de bobina. Os coeficientes das variáveis de decisão nas restrições do problema representam a quantidade de vezes que cada padrão de corte pode ser aplicado para que a largura selecionada seja obtida. Já, na função objetivo, os coeficientes que acompanham as variáveis de decisão representam, em milímetros, as sobras de material para cada padrão de corte.

Considerando que os desperdícios de material, a partir dos cortes, podem trazer um grande prejuízo para a indústria, procura-se definir a quantidade de vezes que cada padrão de corte deve ser utilizado. De forma com que se atinja o primeiro objetivo de minimizar a quantidade de sobras de matéria-prima resultantes a partir dos cortes. Assim, obtém-se a seguinte função objetivo (Equação 2)

$$\begin{aligned} Minimizar f(x) = 100x_{11} + 100x_{22} + 370x_{31} + 270x_{32} + 170x_{33} + 90x_{34} + 45x_{35} + \\ 20x_{36} + 420x_{41} + 320x_{42} + 220x_{43} + 140x_{44} + 95x_{45} + 70x_{46} + 460x_{51} + 360x_{52} + \\ 260x_{53} + 180x_{54} + 135x_{55} + 110x_{56} + 40x_{57} + 35x_{61} + 410x_{62} + 310x_{63} + 230x_{64} + \\ 185x_{65} + 160x_{66} + 90x_{67} + 50x_{68} \end{aligned} \tag{1}$$

Sujeito a

$$\begin{aligned} 1x_{11} + 1x_{31} + 1x_{41} + 1x_{51} + 1x_{61} &= 76,53 \\ 1x_{12} + 1x_{22} + 1x_{32} + 1x_{42} + 1x_{52} + 1x_{62} &= 2471,22 \\ 1x_{23} + 1x_{33} + 1x_{43} + 1x_{53} + 1x_{63} &= 1076,85 \\ 1x_{34} + 1x_{44} + 1x_{54} + 1x_{64} &= 697,56 \\ 1x_{35} + 1x_{45} + 1x_{55} + 1x_{65} &= 640,45 \\ 1x_{36} + 1x_{46} + 1x_{56} + 1x_{66} &= 1568,44 \\ 1x_{47} + 1x_{57} + 1x_{67} &= 2551,85 \\ 1x_{58} + 1x_{68} &= 1383,92 \\ 1x_{69} &= 129,56 \end{aligned} \tag{2}$$

$$x_1 \geqslant 0, x_2 \geqslant 0, x_n \geqslant 0 \tag{3}$$

onde: $x_n$ representa a quantidade de vezes que o seu respectivo padrão de corte deve ser utilizado, a Equação 1 a função objetivo de minimização dos desperdícios, a Equação 2 são as funções restrições para cada uma das demandas de larguras no período e a Equação 3 as restrições de não-negatividade.

O modelo matemático foi resolvido através da utilização do *software* LINDO. Desta forma, uma vez inserida a programação com o objetivo e as restrições, obteve-se a frequência de repetição a ser utilizada para cada padrão de corte pré-definido. Esta disposição de valores visa um desperdício pequeno de material, de forma a orientar a indústria para um lucro considerável e eficaz para mantê-la no mercado competitivo. Assim, sugere-se que, por exemplo, 0 bobinas devam ser cortadas conforme o padrão de corte P183 (variável de decisão $x_{31}$) e 2.552 bobinas cortadas conforme o padrão P310 (variável de decisão $x_{47}$). Desta forma, obter-se-á o desperdício de 125.648

https://proceedings.science/p/106865?lang=pt-br

m de matéria-prima (Figura 3), ou 2.261,66 kg, o que equivale a 0,03% do total da matéria-prima do período. Este valor representa a soma de todos os segmentos de bobinas desperdiçados.

A indústria poderia vender as sobras de produto para reciclagem, pelo valor de R$2,00 por kg, o que totalizaria R$4.523,33 em soma ao lucro da indústria, porém, apresentaria uma perda de R$52.018,22 uma vez comparado com o valor que deixaria de vender. A partir da utilização desta estratégia de alocação de estoques, a indústria reduziria o desperdício de material em 18.847,20 m ou 15% em relação ao modelo atual. E, ainda, obteria um custo de compra de bobinas de BOPP baixo devido a padronização da matéria-prima aplicada, equivalente a R$1.252.665,98 (incluindo as larguras desperdiçadas). O ganho obtido com vendas seria de R$3.716.548,69 com um lucro de 197% acima do investimento em material. O estoque também diminuiria visto o controle da programação de compras de bobinas plásticas padronizadas que, em consequência, manteria um custo de compra de matéria-prima baixo.

### 4.3. Análise da manutenção do estoque no fornecedor (compra sob demanda)

Para o estudo da manutenção do estoque no fornecedor, propõe-se a compra de matéria-prima sob medida. Desta forma, a indústria não contaria com material em estoque. Também, não haveria necessidade de cortes, uma vez que a compra seria realizada conforme largura e quantidade demandada pelo cliente.

Porém, apesar dos diversos benefícios proporcionados por esta forma de alocação de estoques, os aspectos negativos desta seriam o risco da matéria-prima não estar disponível no momento correto para que a entrega do pedido fosse atendida na data pré-definida, pois o prazo de entrega varia de 2 a 7 dias. Além deste, o custo da matéria-prima representa outro ponto negativo, equivalendo a R$10,43. Assim, a partir da utilização desta estratégia, a indústria obteria um custo de compra de bobinas de BOPP equivalente a R$1.550.544,00 e obteria um ganho de vendas de R$ 3.716.548,69.

### 4.4. Análise dos Resultados

Acredita-se que pelo fato da empresa apresentar deficiência em relação ao planejamento de compras, o custo destas tenha sido definido como principal critério no processo de compra, transformação e venda das bobinas plásticas. O fato do critério de custo de estoque ter sido o menos valorizado pelos funcionários pode ser justificado pela falta de conhecimento sobre seu volume e custo até o momento, por isso passou a ser o foco desta pesquisa.

Além do custo de compra, a geração de aparas também foi considerada um fator de importante, influenciando a elaboração da proposta mais adequada para a indústria gerenciar seus estoques. Não existia nenhum tipo de controle relacionado aos cortes de bobinas e tampouco à redução de seus desperdícios. A disponibilidade do material foi elencada como o terceiro fator mais importante dentre os selecionados, o que justifica, mesmo de forma errônea, os altos níveis de estoque, visto que a indústria se preocupa em possuir estoque suficiente para produção no momento em que o pedido é realizado pelo cliente. No entanto, encontraram-se formas diferentes desta aplicada para a gestão de estoques que atendem à necessidade de disponibilidade do material.

Assim, conforme dados apresentados, a forma da padronização do estoque da indústria, com programação de cortes e compras de acordo com a demanda esperada foi selecionada. Desta forma, os estoques seriam minimizados a fim de evitar movimentos desnecessários e proporcionar maior agilidade ao processo, de acordo com os princípios do sistema *lean*. Esta foi repassada à indústria para avaliação da possibilidade de sua aplicação.

## 5. Considerações Finais

Esta pesquisa avaliou a proposta de alocação de estoques de BOPP de uma empresa de embalagens, a partir da comparação com outras duas alternativas de gestão, a fim de sugerir melhorias. Assim, aplicaram-se ferramentas de gestão para análise e validação de dados, como o Problema de

Corte de Estoque (PCE). As alternativas foram estabelecidas conforme as necessidades da indústria, representadas por critérios estabelecidos pela empresa.

Com isso, conclui-se que a pergunta-problema foi respondida e os objetivos atingidos, uma vez que o método atual de gerenciamento de estoques foi avaliado e uma solução factível para a otimização do mesmo foi proposta. Teoricamente, a geração de aparas de BOPP seria reduzida em 15% e o lucro elevado em relação ao modelo atual. Assim, a alternativa de alocação com foco na padronização dos estoques foi considerada a mais adequada.

Ainda como etapas adicionais para o atingimento do objetivo da pesquisa, foram identificadas estratégias para resolução de problemas de corte de estoques na literatura, a partir do qual foi selecionado o método de resolução da programação linear. Também, apresentou-se uma comparação entre os três cenários de compras de BOPP selecionados para o estudo e análise, englobando a formulação e resolução de um modelo matemático para o PCE.

O estudo pode ser replicado para as demais matérias-prima na indústria, viabilizando a melhor proposta de alocação de estoques. Porém, devido à complexidade do projeto, o mesmo foi simplificado, assim, sugere-se o aprofundamento deste estudo em trabalhos futuros, de forma a englobar diferentes restrições e obter resultados mais precisos para os problemas de corte, que englobem mais fatores de influência.

Outra sugestão para trabalhos futuros é a criação de um *software* de corte corporativo para que a empresa possa incluir as larguras das bobinas e suas respectivas demandas e obter automaticamente os padrões possíveis. Estes padrões seriam conjugados e avaliados para as diferentes larguras de bobina em estoque, gerando soluções ainda melhores para o problema, respeitando suas restrições. Assim, esperam-se resultados ainda melhores em relação à utilização de recursos da indústria, sem o acúmulo desnecessário de material em estoque, seguindo os princípios da filosofia *lean*.

## Referências

Andrade, E. L. d. (2015). *Introdução à Pesquisa Operacional: métodos e modelos para análise de decisões*. LTC, 5.ed. Rio de Janeiro.

Ayres, A. d. C. O. (2017). Otimização da programação da produção integrada ao corte de estoque na indústria de papel. Master's thesis, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Univeridade Estadual de Campinas, Limeira.

Bonfim, B. D. S., da Silva, H. M., e Silva, D. C. (2015). Estudo do problema de corte e planejamento da produção aplicado à industria moveleira de pequeno porte. volume 3. SBMAC.

Cherri, A. C., Arenales, M. N., Yanasse, H. H., Poldi, K. C., e Vianna, A. C. G. (2014). The one-dimensional cutting stock problem with usable leftovers – a survey. *European Journal of Operational Research*, 236(2):395–402.

Coelho, K. R., Cherri, A. C., Baptista, E. C., Jabbour, C. J. C., e Soler, E. M. (2017). Sustainable operations: The cutting stock problem with usable leftovers from a sustainable perspective. *Journal of Cleaner Production*, 167:545–552.

Corrêa, H. L. e Gianesi, I. G. (1993). *Just in Time, MRP II E OPT: Um Enfoque Estratégico* . Editora Atlas SA, São Paulo.

Delorme, M., Iori, M., e Martello, S. (2016). Bin packing and cutting stock problems: Mathematical models and exact algorithms. *European Journal of Operational Research*, 255(1):1–20.

Gerhardt, T. E. e Silveira, D. T. (2009). *Métodos de pesquisa*. 1. ed. Editora UFRGS, Porto Alegre.

Kartak, V. M., Ripatti, A. V., Scheithauer, G., e Kurz, S. (2015). Minimal proper non-IRUP instances of the one-dimensional cutting stock problem. *Discrete Applied Mathematics*, 187:120–129.

Koch, S., König, S., e Wäscher, G. (2009). Integer linear programming for a cutting problem in the wood-processing industry: a case study. *International Transactions in Operational Research*, 16 (6):715–726.

Mestriner, F. (2015). Design e inovação de embalagem. `http://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/design-e-inovacao-de-embalagemb92942e05d894410VgnVCM1000003b74010aRCRD`. Acessado: 2018-04-12.

Moreira, D. A. (2013). *Pesquisa operacional - Curso introdutório*. 2. ed. Cengage Learning Edições Ltda.

Muter, İ. e Sezer, Z. (2018). Algorithms for the one-dimensional two-stage cutting stock problem. *European Journal of Operational Research*, 271(1):20–32.

Oliveira, B., Salvador, R., e Silva, V. M. D. (2014). Otimização do problema de corte unidimensional: um estudo de caso na indústria papeleira. *Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção*, 2(3):52.

Poldi, K. C. e Arenales, M. N. (2010). O problema de corte de estoque unidimensional multiperíodo. *Pesquisa Operacional*, 30(1):153–174.

Poltroniere, S. C., Araujo, S. A., e Poldi, K. C. (2016). Optimization of an integrated lot sizing and cutting stock problem in the paper industry. *TEMA (São Carlos)*, 17(3):305.

Rocha, R. F. (2015). O problema de corte de estoque numa indústria moveleira. Master's thesis, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Univeridade Estadual Paulista, São José do Rio Preto.

Salvadeo, G. P. e Bressan, G. M. (2015). Aplicação do problema combinado – corte de estoque e dimensionamento de lotes – em uma fábrica de móveis. volume 3. SBMAC.

Wavrzynczak, H. C., Ulbricht, G., e Teixeira, E. S. M. (2016). Modelo matemático para cortes de barras e aço no processo de fabricação de triângulos. *Holos*, 8:252.

Yin, R. K. (2015). *Estudo de Caso: Planejamento e métodos*. 5. ed. Bookman editora.