



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE

NÚCLEO DE TECNOLOGIA

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**Modelagem e Solução pelo Método Recozimento Simulado do
Problema de Gerenciamento de Estoques em uma Empresa do
Setor de Plásticos**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO

POR

EDWEDJA DE LIMA SILVA

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Tatiana Balbi Fraga

CARUARU, 2017

EDWEDJA DE LIMA SILVA

**Modelagem e Solução pelo Método Recozimento Simulado do
Problema de Gerenciamento de Estoques em uma Empresa do
Setor de Plásticos**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
a Coordenação/Núcleo do Curso de
Engenharia de Produção do Centro
Acadêmico do Agreste da Universidade
Federal de Pernambuco, para obtenção
parcial da graduação em Engenharia de
Produção.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Tatiana Balbi Fraga

Caruaru - 2017

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Paula Silva CRB/4 – 1223

S586m Silva, Edwedja de Lima.
Modelagem e solução pelo método recozimento simulado do problema de gerenciamento de estoques em empresa do setor de plásticos. / Edwedja de Lima Silva. – 2017.
52f.;il.: 30 cm.

Orientadora: Tatiana Balbi Fraga.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia de produção, 2017.
Inclui Referências.

1. Plásticos – Indústria e comércio (Pernambuco). 2. Administração de material (Pernambuco). 3. Controle de estoque. 4. Modelos matemáticos. I. Fraga, Tatiana Balbi (Orientadora). II. Título.

658.5 CDD (23. ed.) UFPE (CAA 2017-264)

EDWEDJA DE LIMA SILVA

**Modelagem e Solução pelo Método Recozimento Simulado do
Problema de Gerenciamento de Estoques em uma Empresa do
Setor de Plásticos**

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

Área de concentração: Pesquisa Operacional

A banca examinadora composta pelos professores abaixo, considera a aluna
EDWEDJA DE LIMA SILVA aprovada.

Caruaru, 13 de dezembro de 2017.

Banca examinadora:

Profa. Dra. Tatiana Balbi Fraga _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Orientadora)

Prof. Dr. Lúcio Camara e Silva _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Profa. Dra. Máisa Mendonça Silva _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliadora)

Profa. Dra. Thárcylla Rebecca N. Clemente _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliadora)

Prof. Dr. Thalles Vitelli Garcez _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Coordenador da disciplina)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado forças nos momentos difíceis não só da minha graduação, mas também de toda minha vida. Agradeço a ele ainda, por ter me abençoado com momentos de alegria e por ter posto em minha vida pessoas que me apoiaram e que nunca sairão das minhas lembranças.

Agradeço a minha família por ter entendido minhas necessidades acadêmicas e me apoiado com relação a elas, principalmente a minha mãe Antônia, o meu pai Maurício, a minha tia Maria das Graças e as minhas irmãs Edwedlla e Julia que me faziam rir em dias que só pensava em chorar. Agradeço ainda ao meu noivo Edson, que entendeu minhas ausências e sempre me incentivou a continuar seguindo os meus sonhos.

Por fim e não menos importante, agradeço a empresa Sanplastil que possibilitou a realização deste trabalho, acompanhando e tirando todas as dúvidas encontradas e aos amigos que a engenharia de produção me presenteou dentre eles alunos e professores, em especial a turma de 2013.1 de Engenharia de Produção e a minha orientadora Tatiana Balbi que me proporcionou crescimentos profissionais e pessoais.

RESUMO

As pequenas empresas são responsáveis por parte considerável da geração de empregos e movimentação de comércio do país. Em face à essa importância, a presente monografia teve como objetivo a elaboração de uma política de gerenciamento de estoques para a empresa Sanplastil, uma pequena empresa do setor de plásticos localizada no interior Pernambucano. Através de um estudo realizado nesta, foi possível identificar a necessidade da aplicação de metodologias para o gerenciamento de seus estoques, uma vez que a sua matéria-prima mais importante possui fornecimento incerto, tendo em vista que esta matéria é provinda de embalagens plásticas não mais utilizadas de polietileno, que são compradas de catadores, moradores e comerciantes da região, não sendo garantido que esse fornecimento supra as necessidades de demanda da empresa. A metodologia proposta teve como base a elaboração de um modelo matemático, que a partir de níveis mínimos e máximos de demanda, fornece as quantidades de matérias-primas que devem estar disponíveis nos estoques da empresa em cada semana, assim como os valores adequados para estoques dos produtos nas lojas. Com base nestas quantidades disponibilizadas pelo modelo, foi elaborada uma política de ressuprimentos, que descreve os processos a serem seguidos, caso as quantidades de matérias-primas não possam ser compradas, devido ao fornecimento incerto da matéria-prima mencionada anteriormente. Para a validação do modelo matemático, foram realizados alguns testes com o software LINGO. Adicionalmente, foi desenvolvida uma ferramenta baseada na heurística Recozimento Simulado. Os resultados obtidos pela aplicação do LINGO demonstraram que o modelo atende de forma adequada as especificidades do processo produtivo. Contudo, foram observadas limitações com relação ao tamanho do problema, mostrando a importância da aplicação de heurísticas, em casos reais.

Palavras-chave: Recozimento Simulado. Gerenciamento de estoques. Política de ressuprimento. Empresa do setor de plásticos.

ABSTRACT

Small businesses account for a considerable part of the country's job creation and trade movement. In view of this importance, this monograph aimed at the development of a stock management policy for the company Sanplastil, a small company in the plastics sector located in the interior of Pernambuco. Through a study carried out in this company, it was possible to identify the need for the application of methodologies for the management of its inventories, since its most important raw material has an uncertain supply, considering that this raw material comes from plastic packaging no longer which are purchased from garbage collectors, residents and traders in the region, and it is not guaranteed that this supply will meet the company's demand needs. The proposed methodology was based on the elaboration of a mathematical model that, from minimum and maximum levels of demand, provides the quantities of raw materials that should be available in the company's inventories each week, as well as the adequate values for inventories of products in stores. Based on these quantities provided by the model, a resupply policy was elaborated, which describes the processes to be followed in case the quantities of raw materials cannot be bought due to the uncertain supply of the raw material mentioned above. For the validation of the mathematical model, some tests were performed with the LINGO software. Additionally, a tool based on the Simulated Annealing heuristic was developed. The results obtained by the application of LINGO demonstrated that the model adequately meets the specificities of the productive process. However, limitations were observed regarding the size of the problem, showing the importance of applying heuristics in real cases.

Keywords: Simulated annealing. Inventory management. Resupply policy. Plastics company.

LISTA DE FIGURAS

Figura 5.1 - <i>Fluxograma do método heurístico</i>	25
Figura 7.1 - <i>Código para a construção da solução inicial</i>	35
Figura 7.2 - <i>Código para a perturbação das soluções</i>	35
Figura 7.3 - <i>Código com critério de seleção de nova solução</i>	36
Figura 7.4 - <i>Pontos ótimos locais e globais</i>	36
Figura 8.1 - <i>Exemplo de ressuprimento de matéria-prima faltante</i>	37
Figura 9.1 - <i>Resultado da modelagem por método exato</i>	43
Figura 9.2 - <i>Resultado da modelagem por método heurístico rodado duas vezes</i>	43
Figura 9.3 - <i>Resultado da modelagem por método heurístico para Sanplastil</i>	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS	11
3	METODOLOGIA	12
4	EMBASAMENTO TEÓRICO E REVISÃO DA LITERATURA	13
4.1	Gerenciamento de Estoques	13
4.2	Metodologias para o Gerenciamento de Estoques	15
4.3	Heurísticas	16
4.4	Recozimento Simulado	17
5	DESCRIÇÃO DA EMPRESA	18
5.1	Descrição da Sanplastil	18
5.2	Análise da Problemática	22
6	MODELO MATEMÁTICO	26
6.1	Índices utilizados	26
6.2	Constantes do modelo	26
6.3	Variáveis de decisão primárias e secundárias	29
6.3.1	<i>Variáveis primárias</i>	29
6.3.2	<i>Variáveis secundárias</i>	30
6.4	Formulação da função objetivo	30
6.5	Identificação das restrições	31
6.5.1	<i>Com relação à capacidade de produção por semana</i>	31
6.5.2	<i>Da capacidade de estoque máxima de matéria-prima</i>	31
6.5.3	<i>Da quantidade de estoque mínima de matéria-prima</i>	31
6.5.4	<i>Da restrição de demanda</i>	32
6.5.5	<i>Da necessidade de cada tipo de matéria-prima</i>	32
6.5.6	<i>Relativo à natureza das variáveis de decisão</i>	32
6.6	Modelo matemático	32
7	METODOLOGIA DE SOLUÇÃO PROPOSTA	34
8	POLÍTICA DE RESSUPRIMENTO	37
8.1	Variáveis da política de ressuprimento	38
8.2	Compras da matéria-prima de polipropileno	38
8.3	Compras da matéria-prima de polietileno	39
8.3.1	<i>Para o fornecedor de matéria-prima não reciclada</i>	39
8.3.2	<i>Para o fornecedor de matéria-prima já reciclada</i>	40
8.3.3	<i>Para o fornecedor de matéria-prima virgem</i>	40

9	VALIDAÇÃO DO MODELO E RESULTADOS	41
10	CONCLUSÕES	46
	REFERÊNCIAS	47
	APÊNDICE A – FLUXOGRAMA DO PROCESSO DO POLIPROPILENO	50
	APÊNDICE B – FLUXOGRAMA DO PROCESSO DO POLIETILENO	51
	APÊNDICE C – PROCESSO DE RECICLAGEM DO POLIETILENO	52

1 Introdução

1 INTRODUÇÃO

A importância que as micro e pequenas empresas (MPE) trazem para a economia brasileira vem se tornando tema de várias discussões, sejam elas acadêmicas ou comerciais. Diversas pesquisas revelam que estas empresas vêm progressivamente aumentando sua relevância no cenário econômico brasileiro. Como exemplo, pode-se citar o estudo realizado pelo SEBRAE (2014) que informa que, no ano de 2011 as micro e pequenas empresas somaram uma participação de 27% na economia em todos os setores, o que representou um valor agregado de 599 bilhões de reais. Devido a essa importância econômica e da geração de empregos causada por esse setor, estas empresas merecem grande atenção. Em especial, na época atual de crise econômica, tendo em vista que estas são as empresas que recebem os impactos da crise de forma mais rápida.

De acordo com Solomon (1986), as pequenas empresas são caracterizadas como organizações que possuem altas taxas de mortalidade e baixos índices de lucratividade. Sendo seu faturamento anual entre R\$ 360 mil e R\$ 3,6 milhões de reais (SEBRAE, 2014). Estas empresas passam por inúmeras dificuldades provindas do seu mau gerenciamento, falta de oportunidades, falta de capacitação de seus gestores ou até por falta de tempo em meio ao cenário altamente competitivo em que estas estão situadas, sempre buscando alta qualidade com um baixo custo. Pesquisas feitas pelo SEBRAE (2016) com duas mil empresas mostram que, para que possam sobreviver nos seus respectivos mercados, as pequenas empresas necessitam de gestores que: a) façam planejamentos para longos períodos de tempo; b) tenham experiência no ramo; e c) invistam em aperfeiçoamentos de seus produtos e de sua mão de obra.

Estes perfis mostram a necessidade de um bom gerenciamento de custos, estoques, bons planejamentos e da compreensão das empresas por parte de seus gestores. Com base em todos esses dados, é notável que empresas de pequeno porte ainda possuam uma menor proporção de utilização de sistemas que auxiliem em sua gestão, fato que geralmente se explica devido ao menor poder aquisitivo ou até pela resistência por parte de seus administradores em mudar o modo habitual de gerir sua empresa e de se comunicar com seus colaboradores, fornecedores e clientes.

Dentre as empresas de pequeno porte, encontram-se algumas indústrias que usam plásticos em seu processo produtivo. As necessidades de tratamento científico nestas se

mostram ainda mais relevantes, principalmente devido aos impactos ambientais causados por sua matéria-prima ou produto final, além da dificuldade de reciclagem destes. Apesar disto, o contexto brasileiro mostra potenciais características de viabilidade socioeconômica e empresarial para a reciclagem de embalagens plásticas, exigindo, todavia, maior conjunção de ações governamentais, empresariais e de pesquisas no setor (Faria & Forlin, 2002).

O presente trabalho tem como foco a Sanplastil, uma empresa de pequeno porte, produtora de sacolas plásticas, localizada na cidade de Santa Cruz do Capibaribe, em Pernambuco. Onde, de acordo com informações apresentadas pelo gestor, há uma grande dificuldade enfrentada pela empresa, relacionada ao planejamento de produção, principalmente devido à flutuação do fornecimento da matéria-prima usada no processo de produção de produtos reciclados, sendo essa a menos custosa e, no entanto, a mais importante para atendimento da demanda da empresa. Este ponto mostra a necessidade da empresa em conhecer e gerir bem seus estoques, saber dos tempos de tomada de decisão, dos custos acarretados pela falta ou excesso de seus materiais, para que, quando necessário, a tomada de decisão esteja de acordo com a minimização de seus custos e atendimento de sua demanda.

Várias são as ferramentas de Engenharia de Produção que poderiam ser aplicadas de forma a auxiliar tal processo, como por exemplo a utilização de modelos de estoques multiníveis proposta por Hillier & Lieberman (2012), que necessita, entretanto, de uma maior integração da cadeia de suprimentos. Buscando propor soluções que atendam tão bem quanto possível as especificidades da empresa estudada, a abordagem escolhida para esta monografia trata: a) do desenvolvimento de um modelo matemático e de uma política de ressuprimentos dos estoques da Sanplastil, visando maximizar os seus lucros; b) validação desse mesmo modelo pela aplicação de técnica exata de Programação Linear; e, por fim, c) do desenvolvimento e teste de um algoritmo de solução baseado no método heurístico do Recozimento Simulado (Metropolis et al, 1953), para solução do modelo proposto.

2 Objetivos Gerais e Específicos

2 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

Sabendo do impacto que as pequenas empresas causam na economia do país e da importância ambiental relacionada às empresas do setor de plásticos, esta monografia objetivou a construção de uma política de gerenciamento de estoques para a Sanplastil,

identificando pontos de melhorias que poderiam ser aplicados a esta, no intuito de propor uma metodologia para auxiliar o processo de determinação dos níveis adequados de estoque.

Com vista a este objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram buscados:

- Análise do processo de produção da empresa;
- Modelagem do problema de determinação de níveis de estoques;
- Validação do modelo;
- Construção de uma política de ressuprimentos;

3 Metodologia

3 METODOLOGIA

Tendo em vista os objetivos apresentados, a metodologia utilizada foi aplicada através dos seguintes passos:

1º passo: Revisão bibliográfica

Durante a realização do trabalho foram realizados estudos bibliográficos de forma contínua. Como foi verificada a necessidade de buscar uma política de estoques que se ajusta a realidade da empresa estudada, foi necessário o estudo de modelos existentes na bibliografia, assim como modelos ou adaptações destes que já foram aplicados em empresas em outros estudos.

2º passo: Compreensão do processo

Foram realizadas visitas frequentes na empresa estudada, para a descrição dos seus processos de armazenamento e produção, de forma a possibilitar uma boa compreensão destes. Também foram realizadas entrevistas com seu gestor para a eliminação de dúvidas e obtenção de dados históricos. Além disto, foi necessária a identificação da metodologia empírica aplicada atualmente para controle dos estoques, e análise dos motivos pelos quais esta não é eficiente para a empresa.

3º passo: Construção de um modelo matemático

Através da realização dos estudos bibliográficos e da compreensão dos processos da empresa, foi possível construir um modelo que pode ser manipulado e controlado pela empresa, de forma que dados futuros possam ser adicionados ou atualizados. Na sessão 6 são detalhados os objetivos, as variáveis, restrições, funções e todas as características que deram embasamento à modelagem do problema.

4º passo: Análise dos resultados

O modelo proposto foi validado pela aplicação de técnicas de programação linear, por meio do software LINGO, bem como pelo sistema computacional desenvolvido com base na heurística Recozimento Simulado. Esse último sistema foi construído com base nas características do modelo e buscando obter uma melhor interface para os colaboradores que o utilizarão.

5º passo: Identificação da melhor política de estoques

Tendo como base os resultados obtidos pela aplicação do software LINGO (ou da ferramenta construída), foi possível identificar uma política para implementação do modelo na empresa, e adaptação da solução proposta quando necessário.

6º passo: Elaboração do relatório final

A elaboração do relatório desta monografia, assim como a revisão bibliográfica, foi realizada de forma contínua para que todos os seus processos fossem devidamente registrados, buscando eliminar possíveis faltas e um alto nível de detalhamento.

4 Embasamento Teórico e Revisão da Literatura

4 EMBASAMENTO TEÓRICO E REVISÃO DA LITERATURA

Estoques são acumulações de matérias-primas, suprimentos, componentes, materiais em processo e produtos acabados que surgem em numerosos pontos do canal de produção e logística das empresas (Ballou, 2006, p.271). Slack et al (2008) por sua vez, definem estoque como o acúmulo de recursos transformados como materiais, informação, dinheiro e clientes. Existem vários motivos que levam a necessidade de estocagens, como tempo de transporte, inviabilidade de compras constantes, economias de escala, produção de suprimentos restrita a apenas algumas épocas do ano, balanceamento da capacidade de produção, entre outros.

4.1 Gerenciamento de Estoques

O gerenciamento de estoques é a atividade que planeja e controla o acúmulo dos recursos que fluem pelas redes de suprimentos, operações e processos (Slack et al, 2008). As metodologias e ferramentas do gerenciamento de estoques evoluíram em otimização de quantidades e custos, porém as necessidades de armazenamento adequado continuam as mesmas, onde empresas e pessoas utilizam esta estratégia para suprir necessidades de seus processos. Um exemplo muito prático disto é a compra de alimentos para suprir a necessidade mensal nas nossas casas, ou a compra de matéria-prima em lotes que suprem a produção de

forma mensal ou bimestral com intuito de economias de escalas, ou por tempo de transporte da matéria. O fato é que se, em algum processo, existir a necessidade de uso de algum tipo de matéria e esta não está disponível no momento requerido, isto indica um mau gerenciamento de estoques.

A necessidade destes estoques é de fácil compreensão por aqueles que necessitam deles, porém existe uma atitude ambivalente dos gerentes, com relação ao excesso de estoque gerar custos elevados e, por outro lado, a falta de estoque impactar diretamente no funcionamento dos processos e na segurança de ambientes incertos (Slack et al, 2008). Estes pontos tornam o gerenciamento de estoques complexo, pois encontrar o ponto ótimo de estoque com relação às necessidades de produção e os custos gerados por estes, pode não ser tarefa fácil, principalmente em se tratando da existência de indústrias que não fabricam apenas um ou dois produtos, mas centenas deles.

As necessidades atuais mostram que os gerenciamentos de estoques nas empresas estão levando em consideração não apenas seus próprios estoques, mas também estoques da cadeia de suprimentos a que pertencem. Uma cadeia de suprimentos pode ser definida como uma rede complexa de atividades que acaba por entregar um produto ou serviço final ao cliente (Moreira, 2009). Esta prática usa a teoria dos estoques multiníveis para a otimização dos custos da cadeia como um todo, além da determinação das quantidades de lotes apropriados na cadeia. Onde, estoque multinível é constituído pelo estoque do item que se encontra fisicamente disponível na instalação mais o estoque do mesmo item que já se encontra adiante no fluxo do processo em níveis subsequentes do sistema (Hillier & Lieberman, 2012).

Estudos realizados na empresa Mondiana Ind. De Plásticos Ltda por Cunha (2006), mostraram a importância da definição de parâmetros básicos para um bom gerenciamento de estoque, como por exemplo, o conhecimento dos fornecedores e clientes do sistema, os custos de seus componentes, a classificação dos seus produtos, a importância de uma boa previsão de demanda por meio, por exemplo, de métodos de previsão por médias móveis ou método de ponto de pedido, entre outros que são de grande importância para que o método de gerenciamento escolhido seja compatível com as necessidades da empresa. O estudo anterior cita ainda que o controle de estoques deve realizar as seguintes ações (Cunha apud Dias, 2006):

- Determinar “o que” deve permanecer em estoque;
- Determinar “quando” se devem reabastecer os estoques;

- Determinar “quanto” de estoque será necessário para um período predeterminado;
- Acionar o departamento de compras para executar aquisição de estoque;
- Receber, armazenar e atender os materiais estocados de acordo com as necessidades;
- Controlar os estoques em termos de quantidade e valor, e fornecer informações sobre a posição do estoque;
- Manter inventários periódicos para a avaliação das quantidades e estados dos materiais estocados;
- Identificar e retirar do estoque os itens obsoletos e danificados.

4.2 Metodologias para o Gerenciamento de Estoques

Existem na literatura vários métodos de realizar um gerenciamento de estoques e cada empresa busca, ou deve buscar, aquele que mais se adeque às suas necessidades. Hillier & Lieberman (2012) citam que algumas empresas japonesas foram pioneiras na introdução de sistemas de estoques *Just-in-times* e outras têm implementado técnicas de pesquisa operacional, conhecidas também como controle de estoques científico. Estes autores detalham ainda as etapas para a implementação deste controle de estoques científico que são as seguintes:

1. Formular um modelo matemático que descreve o comportamento do sistema de estoque;
2. Buscar uma política de estoques ótima em relação a esse modelo;
3. Usar um sistema de processamento de informações computadorizado para manter um registro dos níveis de estoques atuais;
4. Utilizar esse registro, aplicando a política de estoques ótima para sinalizar quando e em que níveis reabastecer os estoques.

A metodologia citada acima já mostra a necessidade de sistemas de controle, que já são, por si só, uma das fronteiras enfrentadas pelas empresas de pequeno porte, pois os custos que estas empresas teriam com as tecnologias que poderiam ajudar na sua gestão podem não ser viáveis para pequenos empreendedores. Padilha & Marins (2003) mostram pesquisas realizadas mundialmente onde a implementação de uma tecnologia específica de informação tem um valor médio de 15 milhões de dólares, mostrando uma realidade distante das empresas brasileiras, que procura ser amenizada com o estudo realizado nesta monografia.

Observando-se as etapas do controle científico citadas anteriormente, verifica-se a necessidade de formulação e resolução de modelos matemáticos, onde o ato de modelar

segundo Sodré (2007) corresponde a uma representação de um sistema real, ou seja, a partir de observações de um sistema real, pode-se modelá-lo por um sistema matemático, por meio de um conjunto de equações. É importante ainda observar que um sistema real pode ser tão complexo de modo a não permitir a criação de um modelo que o represente de forma idêntica, porém simplificações do mundo real, tornam mais fácil o entendimento destes sistemas, onde mesmo que se as suas resoluções não obtiverem pontos ótimos, elas podem resultar em pontos próximos, que não seriam atingidos por cálculos manuais em um curto espaço de tempo.

Uma vez realizados estudos sobre determinado sistema, são obtidas as equações do modelo matemático que melhor o representam. É necessária a aplicação de uma técnica de resolução deste modelo. Taha (2008) afirma que na pesquisa operacional (PO) existem várias técnicas para a resolução de modelos matemáticos, e a complexidade do modelo é quem determina qual a melhor técnica que deve ser utilizada. Estas técnicas muitas vezes são classificadas por características das funções objetivos e das variáveis de decisão dos problemas, como por exemplo a programação linear, a programação inteira, a programação dinâmica, a programação não linear ou a otimização em redes, que resultam em soluções ótimas por meio da aplicação de algoritmos que passam por inúmeras iterações.

Porém, como já mencionado anteriormente, alguns problemas reais são tão complexos, que a implementação de técnicas que levam a soluções exatas pode ter a aplicação impossibilitada pelos algoritmos de solução disponíveis (Taha, 2008). Sendo necessário, portanto, a aplicação de procedimentos aproximativos como metodologias heurísticas ou relaxações, que buscam soluções satisfatórias, apesar de não ótimas.

4.3 Heurísticas

Machado apud Goldbarg & Luna (2009, p.20) definem heurística como “uma técnica que busca uma boa solução utilizando um esforço computacional considerado razoável, sendo capaz de garantir a viabilidade ou a otimalidade da solução encontrada ou, ainda, em muitos casos, ambas, especialmente nas ocasiões em que essa busca partir de uma solução viável próxima ao ótimo.” Além disso, apresentam uma classificação para os tipos de heurísticas, que podem ser estocásticas, clássicas ou analógicas. Já as relaxações podem ser lagrangeanas ou lineares.

Tonetto et al (2006) realizaram estudos sobre a influência das heurísticas nas tomadas de decisões sob incerteza pelos seres humanos e concluíram que “as heurísticas são

mecanismos cognitivos adaptativos que reduzem o tempo e os esforços nos julgamentos, mas que podem levar a erros e vieses de pensamento.” Ou seja, a aplicação de heurísticas como metodologia para algoritmos de processos empresariais ou industriais, pode ser entendido como a replicação de algo que já é feito de forma automática na tomada de decisões humanas. Os autores ainda explicaram a importância desse método levando a pensar como seria se todas as decisões tomadas em nosso dia-a-dia levassem primeiramente em consideração todas as possibilidades geradas como soluções, o que seria inviável.

Chaves (2003, p.13) mostra ainda que as evoluções de estudos sobre heurísticas levaram a estratégias conhecidas como metaheurísticas, que “são procedimentos destinados a encontrar uma boa solução, eventualmente a ótima, consistindo na aplicação, em cada passo, de uma heurística subordinada, a qual tem que ser modelada para cada problema específico.” Este mesmo autor aplicou metaheurísticas híbridas baseadas no GRASP (*greedy randomized adaptive search procedure*) e em métodos de pesquisa em vizinhança variável (VNS/VND) para solucionar o problema do caixeiro viajante com coleta de prêmios (PCVCP), realizando para a sua validação na aplicação de problemas de pequeno porte por modelo exato baseado na formulação matemática do professor de matemática aplicada Egon Balas, e chegando a conclusões que demonstram a eficiência da metodologia da metaheurística pelo tempo de execução e qualidade das soluções finais.

Estes estudos realizados por Chaves (2003) sobre heurísticas, mostram ainda que suas metodologias podem se inspirar em mecanismos de evolução dos seres vivos, como a colônia de formigas que como o nome já indica, são algoritmos baseados no comportamento de colônia de formigas na natureza, busca tabu que utiliza estratégias baseadas na memória, entre outros. Podem ainda ser baseadas em processos industriais realizados em materiais como por exemplo o Recozimento Simulado (RS), que é uma metaheurística baseada no recozimento físico de cristais metálicos para estados de baixa energia.

4.4 Recozimento Simulado

Em 1953 foi publicado no *The Journal of Chemical Physics* o método original do Recozimento Simulado por Metropolis et al (1953), que é caracterizado por um método monte Carlo que segue a distribuição de Boltzmann. O Recozimento Simulado se caracteriza por um método de busca local onde, em seus processos são aceitáveis piores soluções para que se possa fugir de ótimos locais e chegar a futuras soluções mais próximas das ótimas.

De acordo com Silva (2005), o processo do Recozimento Simulado pode ser melhor entendido pensando no recozimento utilizado em metalúrgicas, onde em altas temperaturas as moléculas de qualquer material se movimentam desorganizadamente com altas energias, se esta temperatura for diminuída drasticamente estas moléculas continuarão desorganizadas, mas com baixas energias. Porém se esta temperatura for diminuída de forma mais lenta a energia delas será reduzida e a cada redução elas irão também se organizando. Este método é utilizado para a remoção de defeitos da estrutura atômica de materiais.

A analogia com a modelagem matemática pode ser entendida de acordo com Vieira, Junior & Soares (2002), onde é dada uma solução inicial não ótima ao problema que é gerada de forma aleatória, e esta pode ser entendida como o estado desorganizado inicial do problema. A cada iteração um ou mais pontos vizinhos randômicos são gerados e analisados, caso algum esteja mais próximo da solução, então ele é considerado como o novo ponto de análise, ou seja, o novo estado de menor energia do problema. Caso contrário, este ponto vizinho só será aceito como um ponto válido de acordo com uma probabilidade relativa a “temperatura” atual do sistema. Esta segunda verificação de aceitação é o que faz com que este método escape de ponto ótimos locais.

5 Descrição e Análise da Empresa

5 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DA EMPRESA

5.1 Descrição da Sanplastil

A Sanplastil é uma empresa localizada na cidade de Santa Cruz do Capibaribe, no interior de Pernambuco, que fabrica embalagens plásticas de vários tamanhos e cores. Ela existe no mercado há sete anos e hoje é gerenciada pelo filho do fundador da empresa, que é o gestor que está acompanhando e respondendo aos questionários desta monografia.

A empresa possui processos produtivos de confecção de embalagens plásticas que são realizados com dois tipos diferentes de termoplásticos, ou seja, sua transformação é realizada apenas com o uso do calor para moldá-los. Estes termoplásticos são os polímeros polipropileno (PP) e o polietileno (PE). A diferença entre eles pode ser brevemente descrita pela resistência a temperaturas e físicas por ambos, o PP é um tipo de plástico muito claro e transparente, a partir do momento que a temperatura cai, a sua resistência diminui, portanto,

suas embalagens são mais frágeis sendo mais usadas em alimentos que não são congelados, como por exemplo, em embalagens de alimentos em vitrines, de doces, pães, entre outros. Já o PE é um plástico mais resistente a baixas temperaturas, e mais utilizado como sacolas de lojas, embalagens de gelo, e até produtos líquidos. Na Sanplastil, as embalagens confeccionadas com o polipropileno (PP), recebem em seu processamento apenas matéria-prima virgem, já as embalagens confeccionadas com o polietileno (PE) podem receber matéria-prima virgem ou matéria-prima reciclada, sendo a matéria reciclada aquela com maior demanda.

De forma geral a empresa possui três tipos de fornecimentos de matéria-prima, que são fornecidas por empresas que vendem o PP e o PE na sua forma virgem, pode ainda comprar o PE já reciclado, e a terceira forma de fornecimento de matéria-prima é a compra de bolsas plásticas usadas de PE, contanto que estejam limpas, para a reciclagem na empresa. Essa compra é realizada na entrada da empresa, onde o material é pesado, passa por um processo de separação, retirada de resíduos e é reciclado.

A matéria-prima mais rentável para a empresa é aquela que ainda será reciclada, pois além de ter um custo menor, é aquela que supri a maior parte da demanda da empresa, porém é a mais difícil de ser conseguida posto que seu fornecimento tem um comportamento aleatório. Seus fornecedores são catadores, moradores da cidade, empresas comerciais, entre outros que juntam embalagens não mais utilizadas para vender à Sanplastil, porém nada impede que estas pessoas ou empresas vendam esse material a outras produtoras, ou que não juntem o material que supra a necessidade da empresa, por falta de vontade ou por não conseguirem mais material. Esta característica torna o gerenciamento de estoques da empresa em algo complexo, posto que não se sabe se o material conseguido para reciclagem será suficiente, e conseqüentemente qual necessidade de capital para esta finalidade e para o pedido de material proveniente de outros fornecedores. O gestor da empresa informou que o processo de separação da matéria que será reciclada, possui uma necessidade diária definida, porém não é garantido que este material seja disponibilizado. Todos os meses podem ser tomadas as seguintes decisões com relação à compra de matéria-prima de polietileno (PE) reciclada:

1. Se este fornecimento vier a ocorrer de forma superior à demanda, deverá se decidir até que ponto é viável comprar o material, porém não se sabe a quantidade ideal de compra

para guardar em estoque de segurança, posto que não foram feitos estudos referentes a isto e pelo fato do fornecimento não ter chegado a este nível;

2. Se este fornecimento não suprir a demanda, deve-se fazer a compra de material já reciclado, que é mais caro, porém este material também possui uma quantidade máxima de fornecimento, posto que sua matéria-prima tem o mesmo comportamento aleatório da mesma forma que a da Sanplastil;
3. Em último caso pode-se ainda comprar o material virgem de polietileno PE que está disponível em qualquer quantidade. O ideal é que este material seja comprado apenas para encomendas que só possam ser realizadas com material virgem como, por exemplo, as embalagens plásticas transparentes. A utilização dele para fabricação de produtos que poderiam ser feitos com material reciclado eleva os custos de produção.

As máquinas utilizadas em todos os processos e as funções realizadas por elas são apresentadas na Tabela (5.1).

Tabela 5.1 – Máquinas do processo

Máquina	Função
1- Balança	Pesa os materiais para reciclagem.
2- Condensadora	Condensa e aglutina o material para reciclagem e o transforma em pequenas partículas.
3- Estiradora	Transforma as partículas anteriores em pasta e posteriormente o resfria em forma de tiras.
4- Granulador	Transforma as tiras em pequenos grãos.
5- Aquecedor	Aquece os grãos frios, por atrito. Pois para entrar na extrusora é indicado que estes estejam quentes, para economia de energia.
6- Extrusora	Esta máquina molda os grãos em plásticos na forma de bolsas, porém ainda sem as alças.
7- Cortadora	Elas cortam as bolsas em seus tamanhos corretos e com suas alças.
8- Impressora/Estampadora	Impressão personalizada ou estampa das bolsas, podem ser realizadas em grandes ou pequenas quantidades (A partir de 10kg).
9- Adesivadora	Algumas bolsas não possuem alças, mas sim fitas colantes, e o papel desta máquina é justamente dar esta característica a bolsa.

O fato de serem materiais termoplásticos, ou seja, precisarem de energia térmica para o molde dos produtos mostra a necessidade de energia que as máquinas da empresa têm para a fabricação deles. Por isso, quanto mais contínuo for o processo, menos energia se gasta com

essa moldagem, pois a energia de um processo é aproveitada no outro. Se por exemplo, o material reciclado é granulado e posto diretamente na extrusora, não há necessidade de passar pela máquina aquecedora.

Os materiais virgens ou os já reciclados já podem ser diretamente colocados nas extrusoras, sem necessidade de passar pelos processos de reciclagem, além disso, não são todas as embalagens que passam pelos processos de impressão e adesivação. Observa-se, que a empresa possui uma grande variedade de produtos, que podem ser visualizados na Tabela (5.2).

Tabela 5.2 – Produtos da empresa

Nº	Tipo	Tipos disponíveis	Tamanhos disponíveis	Cores disponíveis
1.	Sacola Boca de Palhaço - PE	Linear e Mixada	4/ Linear 5/Mixada	14/Linear 13/Mixada
2.	Sacola de alça - PE	Reciclada Mixada	8/Reciclada 6/Mixada	2/Reciclada 13/Mixada
3.	Sacola de Alta	PEAD 1 e 2	2/PEAD1 6/PEAD2	13/PEAD1 1/PEAD2
4.	Saco PP	Lisa C/adesivoC/aba	66/Lisa 49/outros	1/Lisa 13/outros
5.	Saco de Lixo	3 tipos	60l, 100l e 200l	2 cores
6.	Saco de Gelo	Linear	30x50	Transparente
7.	Saco de Carvão	Mixado	P, M, G	Preto
8.	Saco	Carvão rec.	30x50	Preto
9.	Saco de Presente	BOPP Couchê	9/BOPP 2/Couchê	-

Uma observação importante é que das quatro extrusoras existentes na fábrica, apenas uma faz o processamento do material polipropileno PP, que é feito apenas com material virgem. As outras três extrusoras processam material virgem ou reciclado de polietileno PE, elas possuem esta flexibilidade, porém como o material reciclado possui alguns micros resíduos que não existem no material virgem e que afetam na produtividade da extrusora, o gestor prefere separar essas máquinas, uma apenas para material virgem, uma apenas para material reciclado e outra que pode processar tanto o material reciclado quanto o virgem. Os

pigmentos que são colocados para atingir as cores desejadas das embalagens são colocados junto com os grãos na entrada das extrusoras, seja ela de material virgem ou reciclado, ou seja, o atingimento das cores das embalagens não afeta em tempos de setup na produção.

A empresa possui 15 funcionários que trabalham 8 horas por dia, porém as extrusoras possuem capacidade de trabalho de 24h/dia sendo possível, portanto a realização de horas extras, ou um posterior aumento de turno de trabalho caso necessário. Os produtos acabados ficam dispostos na própria empresa esperando um pedido, que quando realizado é despachado por um funcionário que faz a separação, indica no sistema e realiza a entrega. A empresa utiliza apenas o Excel para a coleta de dados de produção e saída de pedidos, sendo estes, portanto, os únicos dados históricos para estudo oferecidos pela empresa, não fazendo esta nenhum controle atual de estoques.

As máquinas de corte também podem formar um gargalo na empresa, posto que uma vez que ocorra uma falha em uma delas, a sua manutenção não ocorre de forma rápida, dependendo do tipo de falha ela pode ser levada a outro estado para concerto, levando as outras máquinas a trabalhar em excesso. A largura das bolsas pode ser definida já no processo de extrusão com um setup de aproximadamente 13 min, ou posteriormente, no processo de corte e os resíduos desse processo são retornados para o processo de reciclagem.

Os estoques dos três tipos de matérias-primas são realizados de forma diferente, posto que suas embalagens e quantidades de compras possuem tamanhos diferentes. Estes estoques são dispostos de forma separada na empresa, ficam localizados perto dos processos que iniciam sua utilização e não são realizados cuidados especiais com estes, o único que recebe tratamentos a mais é a matéria-prima que ainda será reciclada. A empresa possui ainda um depósito próprio na cidade onde as matérias-primas também podem ser armazenadas. Os processos produtivos podem ser visualizados nos fluxogramas dos apêndices A, B e C desta monografia.

5.2 Análise da Problemática

A partir dos estudos realizados na Sanplastil, por meio da compreensão dos seus processos e das entrevistas realizadas com o gestor dela, foi identificado a necessidade de construção de uma política de gerenciamento de estoques, posto que este é um ponto que pode tornar a empresa frágil caso ela continue não realizando nenhum tipo de planejamento. Logo, esta monografia realizou a construção de um modelo para identificação das necessidades de

materiais de forma eficiente buscando uma rápida tomada de decisão por parte do gestor, tornando possível o atendimento à sua demanda.

Para a maioria das empresas atuantes no mercado, a construção de uma política de estoques pode ser realizada utilizando-se as metodologias explicadas por autores como Ballou (2006) e Slack et al (2008), porém a empresa estudada possui fatores de complicação que são referentes ao fornecimento de um tipo de matéria-prima possuir um comportamento aleatório e de possuir uma alta variedade de produtos. Por essa razão, esta monografia propõe à empresa uma modelagem matemática que, levando em consideração as necessidades de estoques mínimos e máximos de produtos acabados em cada um de seus clientes, determine os níveis ótimos de estoques de matérias-primas e, comparando estes níveis ótimos com as quantidades já existentes em estoque, forneça consequentemente as quantidades certas que devem ser compradas em cada semana de cada tipo de matéria-prima e de cada fornecedor de forma rápida e econômica.

A utilização das necessidades dos clientes da empresa como dados de entrada do modelo foi realizada não só para uma previsão de demanda adequada, mas também para o fornecimento de uma flexibilidade para o suprimento desta demanda pela Sanplastil. Desta forma, se a empresa, por exemplo, não conseguir toda a matéria-prima necessária para o fornecimento dos níveis desejados de estoques para os seus clientes, ela pode atender pelo menos aos níveis mínimos e realizar a compra de material por meio de outros fornecedores, caso o seu cliente sinalize ter urgência, ou se for um cliente que a empresa caracterize como importante, dependendo, portanto, da política de ressuprimento seguida após a obtenção dos resultados da modelagem. Esta metodologia visa à redução das compras de matérias-primas virgens que são mais caras, para o atendimento da demanda de matérias-primas recicladas, além disto, pode fornecer a Sanplastil uma maior conexão com sua cadeia direta de suprimentos, podendo posteriormente serem aplicadas outras metodologias de integração da cadeia de forma mais fácil.

É verdade que uma maior integração entre a empresa e seus clientes diretos inicialmente pode não ser facilitado pela cultura atual das empresas clientes de passar para seus fornecedores apenas as suas necessidades exatas, porém existem metodologias, por exemplo, que integram todas as empresas de uma cadeia de suprimentos e que se mostram altamente eficientes em seus objetivos, portanto esta passagem de níveis mínimos e máximos de estoques foi visto como uma maneira de flexibilizar as compras da empresa.

Para tanto, foram seguidas as etapas da metodologia de Hillier & Lieberman (2012), que foram descritas na sessão 4, onde foi formulado um modelo matemático que descreve o comportamento do sistema de estoque. Ele recebe como *input* todas as constantes necessárias provenientes da Sanplastil e de seus clientes, realiza o processamento destas e fornece como output as variáveis com os níveis ótimos de estoques de cada tipo de matéria-prima de cada fornecedor em cada semana.

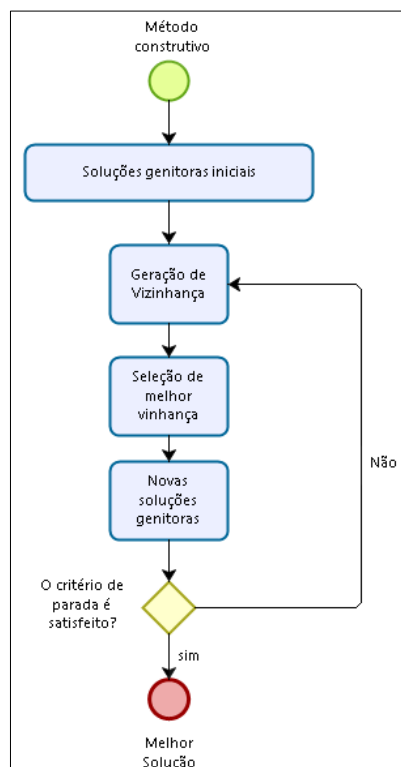
Posteriormente, foi construída uma política de ressuprimento em relação ao modelo, que recebe os níveis ótimos e os compara com os níveis existentes na Sanplastil, realiza então o cálculo das necessidades de compras e as suas respectivas ordens. Se estas compras não puderem ser feitas em sua totalidade devido ao não fornecimento por parte dos fornecedores, esta necessidade excedente é posta na ordem de compra da matéria-prima substituta menos custosa possível. É importante frisar que esta política de ressuprimento foi elaborada de forma metodológica, e não se encontra no sistema computacional construído por esta monografia.

Percebe-se, uma grande quantidade de cálculos a serem realizados para o processamento do modelo matemático demonstrado na sessão 6, tendo em vista que a Sanplastil pode produzir centenas de produtos e a realização destes cálculos de forma manual torna-se inviável. Já existem softwares que realizam o cálculo das técnicas para a resolução de modelos matemáticos, como por exemplo o LINGO, que “é uma ferramenta abrangente destinada a construir modelos de otimização lineares, não lineares (convexas e não convencionais / globais), quádraticas, com restrições de quadriculação, segundo pedido, semi-definido, estocástico e Inteiro, mais rápidas, fáceis e eficientes (LINDO Systems, 2017)”. Este software se mostra eficiente para a aplicação de modelagens, porém suas restrições com relação aos números máximos de constantes e variáveis inviabiliza a aplicação dele quando houver necessidade de planejamento para muitos produtos da empresa em determinado período de tempo, além disso, a utilização dele por colaboradores que nunca tiveram contato com modelagens matemáticas, para o seu uso contínuo, também não se mostra viável.

Foi criado, portanto um sistema de processamento computadorizado utilizando um EDI (*Eletronic Data Interchange*) denominado Code::Blocks, que é um software gratuito que pode ser moldado para as necessidades das empresas, por meio da linguagem de programação C++ (Code::Blocks, 2017). A criação deste sistema e utilização do software se justifica pela sua rápida compilação, levando segundos para o término dos cálculos.

Como a construção do sistema por meio de técnicas exatas de modelagem poderia se tornar inviável não só computacionalmente falando, mas também por questões de tempo de construção do sistema, foi decidido realizar a construção do sistema por meio da heurística Recozimento Simulado (RS). Ou seja, o sistema que foi criado utilizando o Code::Blocks, já mencionado anteriormente, além de receber as constantes iniciais e realizar o cálculo das constantes dependentes destas que são detalhadas na sessão 6, ainda realiza o processamento do modelo por meio da heurística (RS).

A técnica do Recozimento Simulado foi escolhida primeiramente por questões computacionais, obtendo um esforço computacional razoável e por ter sido aplicada em outros trabalhos da literatura e obtido resultados satisfatórios. Um exemplo de sua aplicação é dado por Costa, Barros & Oliveira (2008), que realizaram a aplicação desta técnica na alocação de navios a berços em portos graneleiros com restrições de nível de estoques em São Luis, onde foi verificado a eficiência da sua aplicação por meio dos valores de seus resultados e de tempos de processamento em comparações com técnicas exatas. Os passos desta heurística podem ser visualizados na Figura 5.1 que foi adaptada do fluxograma criado por Vieira, Junior & Soares (2002) para entendimento do método do Recozimento Simulado. O algoritmo desenvolvido para solução do modelo proposto é apresentado na seção 7.



*Figura 5.1 – Fluxograma do método heurístico.
Fonte: Adaptado de Vieira, Junior & Soares (2002).*

6 Modelo Matemático

6 MODELO MATEMÁTICO

As subseções a seguir apresentam toda a estrutura do modelo matemático construído para a determinação dos níveis ótimos de estoques para a Sanplastil.

6.1 Índices Utilizados

Os índices aplicados às variáveis e constantes do modelo podem ser interpretados como:

- p – Representa cada tipo de produto;
- w – Representa cada semana;
- s – Representa cada tipo de fornecedor de matéria-prima;
- l – Representa cada loja cliente;
- t – Representa cada tipo de matéria-prima;
- n - Representa cada semana de previsão;

6.2 Constantes do modelo

As seguintes constantes foram utilizadas no modelo construído:

- Fc – é o custo fixo contraído por pedido de cada tipo de matéria-prima (R\$);
- M – é o custo anual de manutenção unitária em estoques (%/ano);
- C – é o custo de compra por quilo de cada tipo de matéria-prima (R\$/kg);
- Cmi – é o custo unitário da falta de estoque (R\$/kg);
- z – é o coeficiente de distribuição normal em função do nível de serviço desejado;
- d – é o desvio normal;
- LT – é o lead time de reposição de cada matéria-prima;
- UC- é a contribuição unitária de cada produto produzido por determinado tipo (R\$);
- CapS – é a capacidade total de produção por semana na Sanplastil (kg);
- SSA – é o espaço total semanal disponível para estoque de matéria-prima na Sanplastil (kg);
- XI – é a quantidade de matéria-prima inicial em estoque (kg);
- YMA– é a quantidade máxima de produto acabado pedida por cada loja (kg);
- YMI – é a quantidade mínima de produto acabado pedida por cada loja (kg);
- RD – é a demanda real passada de cada tipo de cada semana da sanplastil(kg);
- N - é o numero total de semanas cuja demanda real foi disponibilizada;
- P - é o número total de produtos que se quer fazer o planejamento;

W - é o número total de semanas cujas variáveis serão calculadas (horizonte de planejamento);
 S - é o número total de tipos de fornecedores de matéria-prima;
 L - é o número total de lojas clientes da empresa;
 T - é o número total de tipos de matéria-prima;
 PD - é a previsão da demanda semanal de cada tipo de matéria-prima (kg);
 a - é a ordenada correspondente à $X=0$;
 b - é o coeficiente angular da reta de previsão;
 Sd - é o desvio padrão da previsão (kg);
 TC - é o custo total semanal de estocagem e de compra de cada tipo de matéria-prima(R\$);
 S'd - é erro padrão de previsão;
 E(d) - é a função perda normal;
 Q - é o lote econômico de compra (kg);
 SSM - é o estoque de segurança de cada matéria-prima (kg);
 WG - é o custo total de estocagem de matéria-prima que será colocado na função objetivo;

Algumas constantes necessárias nesta modelagem, utilizam o valor de outras constantes do modelo para o cálculo de seus valores. Estas foram conceituadas e estudadas, para que se adequassem melhor as necessidades desse modelo. As equações detalhadas a seguir foram calculadas para a implementação dos custos de estocagem das matérias-primas na função objetivo deste modelo, por meio de um peso (WG) que será mais detalhado adiante.

Como o objetivo desta monografia é a construção de uma política de gerenciamento de estoques, uma das principais constantes a ser conceituada é a previsão da demanda, pois uma previsão de demanda precisa é um fator muito importante para uma boa gestão de estoque. Por isso, foi perguntado ao gerente da empresa Sanplastil como se comportava a sua demanda, mesmo não existindo nenhum método de previsão de demanda aplicado na empresa, o gestor afirmou que sua demanda é sazonal, ou seja, assume comportamentos semelhantes em determinados períodos do ano. Portanto neste modelo foi utilizada a metodologia de previsão proposta por Moreira (2009, p.300), onde a equação da reta de tendência é determinada pelo método dos mínimos quadrados e pode ser visualizada a seguir.

$$PD_{stw} = ast + bst.w \quad (6.1)$$

E os parâmetros 'a' e 'b' da reta podem ser encontrados pelo sistema das equações normais (6.2) e (6.3).

$$\sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N RD_{stn} = N.ast + bst \sum_{n=1}^N N \quad (6.2)$$

$$\sum_{n=1}^N N \sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N RDstn = ast \sum_{n=1}^N N + bst \sum_{n=1}^N N^2 \quad (6.3)$$

Observe que, os índices ‘ n ’ e ‘ w ’ corresponde ambos a números semanais, porém as equações normais consideram um número específico de semanas pelas quais se sabe a real demanda da empresa, ou seja o número de semanas totais que se tem em dados históricos, que serviram para o cálculo dos parâmetros ‘ a ’ e ‘ b ’ da reta. Porém, uma vez obtida a equação da reta (6.1) a previsão da demanda pode ser calculada para o tempo que se queira ‘ w ’. É interessante afirmar, que a previsão de demanda calculada por esta monografia considera espaços semanais de tempo, logo não foi necessário o cálculo das correções da sazonalidade da previsão, posto que estes espaços são curtos para uma grande variação desta. Porém foi mantida a metodologia aplicada por Moreira (2009), para que se em estudos futuros for necessário o cálculo de uma demanda trimestral por exemplo, esta metodologia seja utilizada e apenas acrescida pela correção da sazonalidade.

Obtida a previsão da demanda, é possível então calcular o desvio padrão da estimativa pela equação (6.4).

$$Sdst = \sqrt{\frac{\sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N (RDstn - PDstn)^2}{N-2}} \quad (6.4)$$

O custo total de estocagem é expresso por Ballou (2006) na equação (6.5), onde é levado em consideração os custos de pedidos, de manutenção do estoque normal, a manutenção do estoque de segurança e da falta de estoque. Porém na busca de adequar a equação as necessidades da empresa, será retirada a expressão referente ao custo de manutenção de estoque de segurança, posto que o estoque mesmo sendo o de segurança, não traz grandes impactos econômicos em relação à sua manutenção, mas a falta de estoque sim acarreta em grandes perdas à empresa. Sendo levado em consideração, portanto o custo da falta de estoque.

$$TC = \left(\frac{PD}{Q}\right)Fc + M.C \left(\frac{Q}{2}\right) + M.C.z.s'd + \left(\frac{PD}{Q}\right)Cmi.s'd.E(d) \quad (6.5)$$

Logo o custo total de estocagem (TC) utilizado na função objetivo desta modelagem será representado pela equação (6.6) a seguir, os índices ‘ st ’ foram omitidos por questão de simplificação.

$$TC = \left(\frac{PD}{Q}\right)Fc + M.C \left(\frac{Q}{2}\right) + \left(\frac{PD}{Q}\right)Cmi.s'd.E(d) \quad (6.6)$$

O erro padrão de previsão, a função perda normal e o lote econômico de compra (LEC) podem ser calculados segundo as formulas expressadas por Ballou (2006), que são mostradas respectivamente nas equações (6.7), (6.8) e (6.9) abaixo.

$$S'dst = Sdst \cdot \sqrt{LTst} \quad (6.7)$$

$$E(d) = e^{[-0.92 - (1.19(d)) - (0.37d^2)]}, \text{ para } d \geq 0. \quad (6.8)$$

É importante frisar, que o valor da função perda normal está em função do desvio normal 'd', e possui seus valores tabulados, porém a equação (6.8), mostrada anteriormente, fornece uma aproximação aceitável para o proposto. Além disto, a previsão de demanda utilizada na equação (6.9) é anual, ou seja, a previsão semanal realizada pela equação (6.1) é convertida em anual, para a possibilidade de utilização da equação do lote econômico de compra.

$$Q = \sqrt{\frac{2 \cdot PD \cdot Fc}{M.C}} \quad (6.9)$$

O estoque de segurança de cada matéria-prima pode ser calculado pela equação (6.10).

$$SSMst = z \cdot Sdst \cdot \sqrt{LTst} \quad (6.10)$$

6.3 Variáveis de decisão Primárias e Secundárias

6.3.1 Variáveis Primárias

As variáveis de decisão primárias serão definidas como:

$Xstw$ – Quantidade de matéria-prima 't', do fornecedor 's' em estoque na semana 'w' (kg);

$Yptw$ – Quantidade do produto acabado 'p', do tipo 't' produzido na semana 'w' (kg);

Para questões de facilitação de compreensão podemos considerar $Xstw$ como “a entrada da produção” na Sanplastil e a $Yptw$ como a respectiva “saída da produção”. Tanto a entrada quanto a saída possuem a mesma unidade de medida, pois como já foi dito anteriormente a transformação que ocorre é apenas no formato da matéria, ou seja, se a Sanplastil compra 10 (kg) de matéria-prima, ela vai vender produtos com até 10 (kg), porém com o valor agregado da transformação ocorrida.

Onde, esta matéria-prima pode ser fornecida da seguinte maneira:

s = 1 = Virgem;

s = 2 = Reciclada;

s = 3 = Não reciclada.

Dos tipos:

$t = 1$ = Polipropileno;

$t = 2$ = Polietileno.

Já os produtos acabados possuem um total de 457 tipos diferentes e seu conjunto pode ser representado por $p = \{1, 2, 3, 4, 5, \dots, 457\}$, os tipos de produtos são descritos na tabela (5.3) desta monografia, porém como a modelagem é realizada de forma semanal, pode não ser necessário, nem viável que a empresa fabrique todos os tipos de seus produtos em uma semana por exemplo, por isso o sistema recebe em seu *input* a quantidade de produtos que serão considerados em seu planejamento. Da mesma forma o período de tempo ' w ' considerado pela metodologia não possui restrições, sendo este definido no momento da aplicação dela.

6.3.2 Variáveis Secundárias

As variáveis de decisão secundárias são aquelas que são calculadas em função das variáveis primárias, neste modelo essas variáveis determinam as quantidades de compras de matérias-primas para a Sanplastil, ou seja, elas compõem a política de ressuprimento de estoques da empresa. Para uma melhor compreensão de seu significado, foi criada a sessão 8 sobre a política de ressuprimento construída para a empresa, onde estas variáveis serão melhor descritas.

6.4 Formulação da função objetivo

O objetivo desta modelagem é de determinar os valores das variáveis primárias (X_{stw} , Y_{ptw}) de forma a maximizar os lucros da empresa Sanplastil. Deve-se, portanto definir a quantidade total de matéria-prima em estoque (X_{stw}) e a quantidade total de produto acabado (Y_{ptw}) em cada semana, de forma a maximizar o lucro (L) da empresa, a função objetivo pode ser representada pela equação (6.12), onde será considerada uma margem de lucratividade, que é calculada com a contribuição total dos produtos da empresa menos os custos totais dos seus materiais.

É importante destacar que o custo considerado na função objetivo deve considerar os custos de compra e de estocagem de cada matéria-prima, logo será acrescentado o custo total de estocagem, manutenção e falta de matéria-prima de cada matéria. Esse cálculo foi realizado simplesmente dividindo a quantidade total de X_{stw} por ela mesma e multiplicando pelo custo total, desta forma se determinada matéria-prima não for comprada, este custo não é

adicionado, onde este valor, por questões de simplificação foi chamado de peso, e pode ser representado pela equação (6.11).

$$WGstw = TCstw * \frac{Xstw}{Xstw}, \quad \forall (s, t, w) \quad (6.11)$$

Que será adicionado na função objetivo demonstrada na equação (6.12).

$$Max L = \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \sum_{w=1}^W UCpt.Yptw - (\sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T \sum_{w=1}^W Cst.Xstw + WGstw) \quad (6.12)$$

6.5 Identificação das restrições

A partir do estudo realizado na empresa, foi possível achar as seguintes restrições:

6.5.1 Com relação à capacidade de produção por semana

A restrição a seguir informa que, toda saída de produção em determinado período tem que ser menor que toda a capacidade de produção nesse mesmo período. Percebe-se que a capacidade de produção é dependente da semana, posto que, por exemplo, se um funcionário faltar ou se forem feitas horas extras, esta capacidade pode diminuir ou aumentar respectivamente dependendo da semana.

$$\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T Yptw \leq CapSw, \quad \forall w = 1, \dots, W \quad (6.13)$$

6.5.2 Da capacidade de estoque máxima de matéria-prima

A restrição a seguir informa que todo o espaço necessário para o armazenamento de matéria-prima deve ser menor ou igual àquele total disponível pela empresa em determinada semana. Em toda semana pode existir uma quantidade de matéria-prima que foi comprada anteriormente e que ainda não foi utilizada pela produção. E esta deve ser considerada quando forem calculados os níveis ótimos de estoque, para que toda a matéria possa ser armazenada dentro das capacidades da empresa.

$$\sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T Xstw \leq SSAw, \quad \forall w = 1, \dots, W \quad (6.14)$$

6.5.3 Da quantidade de estoque mínimo de matéria-prima

O total de matéria-prima em estoque na empresa em determinado período de tempo, deve ser maior que a necessidade de matéria para a produção de sua demanda mais o estoque de segurança necessário de cada matéria-prima, ou seja, é necessário garantir que a matéria-prima disponível em estoque supra as necessidades sem zerar o estoque de segurança, menos o estoque inicial que já está na empresa proveniente de semanas anteriores.

$$\sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T Xstw > \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T Yptw + \sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T SSMst - Xlst, \quad \forall w = 1, \dots, W \quad (6.15)$$

6.5.4 Da restrição de demanda

A produção total de determinado produto em um determinado período de tempo deve ser menor ou igual às necessidades máximas da demanda da Sanplastil para este produto.

$$Y_{ptw} \leq \sum_{l=1}^L YMA_{ptwl}, \quad \forall(p, t, w) \quad (6.16)$$

Da mesma forma, a produção total de determinado produto em um determinado período de tempo deve ser maior ou igual às necessidades mínimas da demanda da Sanplastil para este produto.

$$Y_{ptw} \geq \sum_{l=1}^L YMI_{ptwl}, \quad \forall(p, t, w) \quad (6.17)$$

6.5.5 Da necessidade de cada tipo de matéria-prima

A restrição a seguir informa que, como cada produto possui uma necessidade de determinado tipo de matéria-prima, em cada semana deve ser garantido que se tenha em estoque as quantidades de matérias-primas do tipo ‘*t*’ para a fabricação de produtos feitos com este mesmo tipo e para o estoque de segurança desse mesmo tipo.

$$\sum_{s=1}^S X_{stw} \geq \sum_{p=1}^P Y_{ptw} + \sum_{s=1}^S SSM_{st}, \quad \forall(t, w) \quad (6.18)$$

6.5.6 Relativo à natureza das variáveis de decisão

$$X_{stw}, Y_{ptw} \geq 0, \quad \forall(p, t, w) \quad (6.19)$$

6.6 Modelo matemático

Dado que:

X_{stw} – Quantidade de matéria-prima ‘*t*’, do fornecedor ‘*s*’ em estoque na semana ‘*w*’ (kg);

Y_{ptw} – Quantidade do produto acabado ‘*p*’, do tipo ‘*t*’ na semana ‘*w*’ (kg);

Onde, a matéria-prima pode ser fornecida na sua forma:

$s = 1$ = Virgem;

$s = 2$ = Reciclada;

$s = 3$ = Não reciclada.

Os tipos:

$t = 1$ = Polipropileno;

$t = 2$ = Polietileno.

E os produtos:

$$p = \{1, 2, 3, \dots, 457\};$$

$$\text{Maximizar } L = \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \sum_{w=1}^W UC_{pt} \cdot Y_{ptw} - \left(\sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S \sum_{w=1}^W C_{st} \cdot X_{stw} + WG_{stw} \right) \quad (6.12)$$

Sujeito à:

$$\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T Y_{ptw} \leq CapS_w, \quad \forall w = 1, \dots, W \quad (6.13)$$

$$\sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T X_{stw} \leq SSA_w, \quad \forall w = 1, \dots, W \quad (6.14)$$

$$\sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T X_{stw} > \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T Y_{ptw} + \sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T SSM_{st} - XI_{st}, \quad \forall w = 1, \dots, W \quad (6.15)$$

$$Y_{ptw} \leq \sum_{l=1}^L YMA_{ptwl}, \quad \forall (p, t, w) \quad (6.16)$$

$$Y_{ptw} \geq \sum_{l=1}^L YMI_{ptwl}, \quad \forall (p, t, w) \quad (6.17)$$

$$\sum_{s=1}^S X_{stw} \geq \sum_{p=1}^P Y_{ptw} + \sum_{s=1}^S SSM_{st}, \quad \forall (t, w) \quad (6.18)$$

$$X_{stw}, Y_{ptw} \geq 0, \quad \forall (p, t, w) \quad (6.19)$$

Onde,

Fc – é o custo fixo contraído por pedido de cada tipo de matéria-prima (R\$);

M – é o custo anual de manutenção unitária em estoques (%/ano);

C – é o custo de compra por quilo de cada tipo de matéria-prima (R\$/kg)

Cmi – é o custo unitário da falta de estoque (R\$/kg);

z – é o coeficiente de distribuição normal em função do nível de serviço desejado;

d – é o desvio normal;

LT – é o lead time de reposição de cada matéria-prima;

UC- é a contribuição unitária de cada produto (R\$);

CapS – é a capacidade total de produção por semana na Sanplastil (kg);

SSA – é o espaço total semanal disponível para estoque de matéria-prima na Sanplastil (kg);

XI – é a quantidade de matéria-prima inicial em estoque (kg);

YMA – é a quantidade máxima de produto acabado pedida por cada loja (kg);

YMI – é a quantidade mínima de produto acabado pedida por cada loja (kg);

RD – é a demanda real de cada tipo de cada semana da sanplastil(kg);

N - é o numero total de semanas cuja demanda real foi disponibilizada;

P - é o número total de produtos que se quer fazer o planejamento;

W- é o número total de semanas consideradas;

S - é o número total de tipos de fornecedores de matéria-prima;

L - é o número total de lojas clientes da empresa;

T - é o número total de tipos de matéria-prima;

PD - é a Previsão da demanda semanal de cada tipo de matéria-prima (kg);

a - é a ordenada correspondente à $X=0$;

b - é o coeficiente angular da reta;

Sd - é o desvio padrão da previsão (kg);

TC - é o custo total semanal de estocagem e de compra de cada tipo de matéria-prima(R\$);

S'd - é erro padrão de previsão;

E(d) - é a função perda normal;

Q - é o lote econômico de compra (kg);

SSM - é o estoque de segurança de cada matéria-prima (kg);

WG - é o peso do custo total de estocagem de matéria-prima que será colocado na função objetivo;

7 Metodologia de Solução Proposta

7 METODOLOGIA DE SOLUÇÃO PROPOSTA

Para o desenvolvimento de um algoritmo baseado no Recozimento Simulado foi necessário a definição de como será contruída a solução inicial; como será feita a perturbação da solução; como será aplicado o critério de probabilidade de aceitação; além da definição do critério de parada. Cada um desses passos serão apresentados a seguir.

Seguindo os passos demonstrados na Figura 5.1, foi necessária a construção de uma solução inicial para o modelo, em que são dadas às variáveis valores randômicos não ótimos, porém que atendem a todas as restrições do modelo. A Figura 7.1 demonstra o código seguido para a construção da solução inicial, onde os limites máximos e mínimos dados às variáveis que representam as quantidades de produtos fabricados em cada semana (Y_{ptw}) são definidos pelas constantes dadas na entrada do sistema, já os limites que restringem as quantidades de matérias-primas que são compradas em cada semana (X_{stw}) são dependentes dos valores iniciais já dados a (Y_{ptw}) e são variados a cada iteração do laço criado, ou seja, são realizadas perturbações randômicas na atribuição das quantidades de matérias-primas até que esses valores estejam de acordo com os limites dados pelas restrições do modelo matemático. Após

a definição da solução inicial, é calculado o *fitness*, que pode ser entendido como o melhor valor gerado para a função objetivo.

```

Do
  Gere perturbação estocástica  $\forall$  new_Yptw
  If (minimum.limits < new_Yptw < maximum.limits)
    Yptw = new_Yptw
  While (minimum.limits < new_Yptw < maximum.limits)
    Do
      Gere perturbação estocástica  $\forall$  new_Xstw
      If (minimum.limits < new_Xstw < maximum.limits)
        Xstw = new_Xstw
      While (minimum.limits < new_Xstw < maximum.limits)
        Calcule Fitness()

```

Figura 7.1 – Código para a construção da solução inicial.

A partir do momento que a solução inicial é gerada podem ser feitas novas perturbações nos valores dados as variáveis, em que são geradas novas soluções por meio de pequenos passos positivos ou negativos relativos a solução inicial. Essas perturbações foram feitas de acordo com o código de perturbação construído por Sacco, Oliveira & Pereira (2005), que se mostraram eficientes na otimização do design de um núcleo de reator nuclear e que pode ser visualizado na Figura 7.2.

```

Pequena_perturbação ()
Upper = Random(1.0,1.2)*Old_Config
If (Upper>Superior Limit)
  Upper = Superior Limit
End If
Lower = Random(0.8,1.0)*Old_Config
If (Lower < Inferior Limit)
  Lower = Inferior Limit
End If
Rand = Random(0,1)
New_Config = Old_Config + ((Upper-Old_config)*Rand) -
              ((Old_Config - Lower)*(1-Rand))
End

```

Figura 7.2 – Código para a perturbação das soluções.
Fonte: Adaptado de Sacco, Oliveira & Pereira (2005)

Para cada nova solução é verificado se o seu *fitness* é melhor que o da solução anterior, se este for melhor, então esta nova solução já é aceita. Se a solução gerada não for melhor que

a solução anterior isso não significa que ela não deve ser aceita, posto que existem pontos ótimos locais que precisam ser evitados, portanto para evitar estes ótimos locais, a solução que gera um fitness pior ainda pode ser escolhida se esta atender ao critério de Metropolis et al (1953) em que, o código utilizado foi baseado no construído por Sacco, Oliveira & Pereira (2005), que pode ser visualizado na Figura 7.3.

```

If (fitness(new_Yptw) > fitness(old_Yptw))
    Yptw = new_Yptw
Else
    Share = 1 - (new_Yptw / Yptw)
    If (Share > random(0,1))
        Yptw = new_Yptw
    Else
        Crie um novo new_Yptw()
End if

```

Figura 7.3 – Código com critério de seleção de nova solução.
Fonte: Adaptado de Sacco, Oliveira & Pereira (2005)

Esta fuga dos pontos ótimos locais são explicados por vários autores da literatura, e pode ser melhor entendida por meio da visualização da Figura 7.4, onde são facilmente visualizados estes pontos, que se não evitados, pode levar a solução a resultados não aproximados dos ótimos.

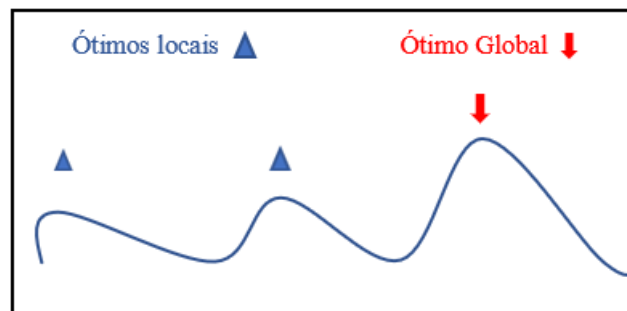


Figura 7.4 – Pontos ótimos locais e globais.

O critério de parada aplicado foi baseado no número máximo de iterações sem melhora do *fitness*. Assim, quando o algoritmo roda determinado número de iterações sem que o

fitness das soluções encontradas seja melhorado, o algoritmo para e retorna a melhor solução até então encontrada. Esse critério foi posto por gerar resultados aceitáveis ao modelo.

8 Política de Ressuprimento

8 POLÍTICA DE RESSUPRIMENTO

O objetivo da construção desta política foi o de definir as quantidades de compras de cada tipo de matéria-prima de cada fornecedor em cada período de tempo para a reposição dos estoques da Sanplastil, tomando como base os níveis ótimos pré-estabelecidos pelo modelo matemático demonstrado anteriormente. Visando diminuir a compra de um tipo de matéria-prima mais cara, para o atendimento da demanda de uma matéria-prima mais barata, e desta forma maximizar os lucros da empresa.

O modelo matemático explicado na sessão 6 resulta em pontos ótimos de matéria-prima e da quantidade produzida da Sanplastil em cada semana, porém em determinados períodos pode não ser possível comprar as quantidades ótimas, dos fornecedores definidos na modelagem, por isso foi necessária a construção desta política, para que se possa determinar os níveis de compra de uma matéria-prima substituta quando a definida na modelagem não possa ser comprada em sua parte ou totalidade. Essa política pode ser melhor entendida pelo exemplo demonstrado pela Figura 8.1, onde uma matéria faltante de PE pode ser comprada pela matéria substituta mais barata possível.

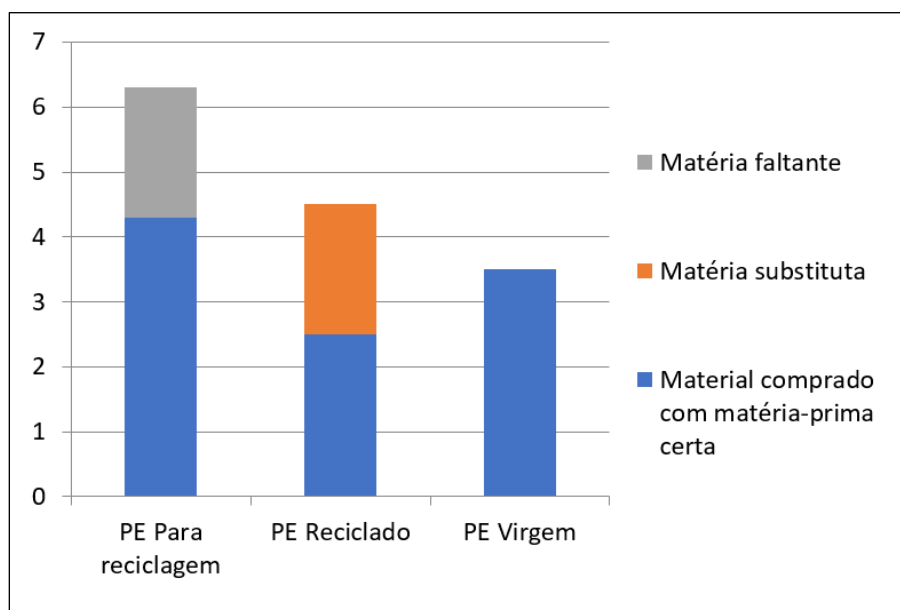


Figura 8.1 – Exemplo do ressuprimento de matéria-prima faltante.

É importante destacar ainda que os cálculos das equações desta sessão não estão no sistema computacional construído para a modelagem desta monografia, esta política serve como uma metodologia para a empresa de como proceder caso os níveis ótimos não possam ser atendidos devido ao tipo de fornecimento da matéria de polietileno mais barata.

A construção dessa política não significa que a empresa não praticasse a ideia geral que é passada por ela para a compra de suas matérias, porém não existia um modelo que fosse baseado em níveis ótimos, ou que informasse quando essas compras deveriam ser feitas, a fim de otimizar os lucros. Na construção dessa política, foi verificado que a implementação dela por um sistema computacional que receba informações de compras e utilização de matérias de forma diária, pode aumentar a eficiência da sua utilização, porém este sistema é objeto de propostas futuras de melhoramentos, onde esta metodologia pode ser aplicada de forma mais eficiente.

8.1 Variáveis da Política de ressurgimento

As variáveis utilizadas nas próximas equações podem ser entendidas da seguinte forma:

B – É a quantidade total semanal de compra de cada matéria-prima;

RX – É a quantidade de matéria-prima já existente nos estoques na empresa;

BP – É a quantidade de compra possível de determinada matéria-prima;

BSR – É a quantidade de compra substituta que será realizada pela matéria-prima já reciclada;

PR – É o ponto de reposição para as políticas de compra com ressurgimento contínuo;

BSV – É a quantidade de compra substituta que será realizada pela matéria-prima virgem;

8.2 Compras da matéria-prima de Polipropileno

Como já mencionado anteriormente na descrição da empresa, a compra desse tipo de material é feita apenas com o fornecedor de matéria-prima virgem, de forma periódica com um intervalo semanal, a quantidade de compras é realizada de acordo com os níveis ótimos calculados pelo modelo matemático, ou seja, estes níveis ótimos são considerados como níveis de referência da reposição periódica, pois a compra deste tipo de matéria não possui restrições de fornecimento e os lotes de compra são determinados pela equação (8.1).

$$B_{stw} = X_{stw} - RX_{stw} \quad \forall w = 1, \dots, W \quad (8.1)$$

Onde, s=1 e t=1.

Ou seja, a quantidade de matéria-prima que será comprada em determinada semana será a quantidade ótima dita pela modelagem, que já considera os níveis de estoque de segurança,

menos aquela que já se encontra disponível na empresa. Os tipos de matéria-prima para reciclagem e já reciclada, na Sanplastil não são compradas do material do tipo polipropileno, logo:

$$B_{stw} = 0, \text{ para } s=2, s=3 \text{ e } t=2 \quad (8.2)$$

8.3 Compras da matéria-prima de Polietileno

A compra de matéria-prima de polietileno na Sanplastil possui três tipos diferentes de fornecedores sendo eles os de matéria-prima não reciclada, já reciclada e de matéria-prima virgem, onde as últimas duas podem servir como matéria-prima substituta para atender a demanda da matéria-prima que passa pelo processo de reciclagem, porém a um preço maior, portanto estes preços devem ser levados em consideração na hora de escolher a matéria substituta. As quantidades e períodos de compras de cada fornecedor podem ser visualizadas nas subseções seguintes.

8.3.1 Para o fornecedor de matéria-prima não reciclada

A reposição deste tipo de material é intermitente, com intervalos e quantidades desconhecidas, pelo fato de como já mencionado anteriormente ser proveniente de vários meios distintos a qualquer hora do dia na própria empresa, onde não existe uma certeza do fornecimento da quantidade total de material necessário para o atendimento da demanda da empresa. Por este motivo, as próximas equações serão tratadas de maneira que se possa comprar a quantidade faltante por outros fornecedores, respeitando-se a ordem de preços. É observado que outros fatores podem ser verificados como, por exemplo, o tempo de lead time dos produtos substitutos, porém a preocupação inicial desta problemática são os custos.

As quantidades de compras desse tipo de matéria-prima são calculadas da mesma forma que a compra de polipropileno, pela equação (8.1) observando as diferenças dos índices. Porém, existe uma determinação a mais a se fazer, onde se a quantidade possível de compra for menor que a necessária, esta será comprada pelo substituto mais barato que no caso é a matéria-prima já reciclada.

$$BSR_w = B_{stw} - BP_{stw} \quad (8.3)$$

Onde, $s=3$ corresponde a matéria-prima não reciclada.

Observa-se que a matéria-prima substituta (BSR) pode ser comprada em seu valor total, ou pode ainda ser comprada apenas a quantidade que atinja a quantidade mínima da demanda pedida pelos clientes. Ou seja, existe aqui uma flexibilidade de compra dada pelas

quantidades mínimas fornecidas por cada cliente, em que a empresa pode decidir qual ação será tomada a esse respeito. Esta decisão pode ser tomada por uma avaliação de custo-benefício de comprar uma maior quantidade de matéria-prima mais cara, ou por grau de importância que a empresa agrega a cada tipo de cliente.

Além disto, se por acaso em determinado mês o fornecimento exceder a demanda, ela pode continuar a ser comprada até que se ultrapasse um ponto de reposição determinado na equação (8.4). É interessante verificar que neste caso não foi aplicada uma política de reposição periódica, posto que as compras dessa matéria não são realizadas em períodos determinados, se adequando mais a uma política de reposição contínua com a diferença que não se sabe a quantidade que será repostada e não se controla o momento exato de reposição.

$$PRstw = (PDstw * LTst) + SSMst \quad (8.4)$$

8.3.2 Para o fornecedor de matéria-prima já reciclada

Como já mencionado anteriormente, além das compras normais desse tipo de matéria-prima, será comprado ainda as necessidades de material para substituir as faltas da demanda de matéria-prima que passa pela reciclagem. A reposição dessa matéria é periódica com intervalo semanal, e os níveis de referência dados pela modelagem matemática. As quantidades de compra são determinadas pela equação (8.5), onde as compras de material para produção são dispostas pela equação (8.1) acrescidas da necessidade dessa matéria para substituir a matéria não reciclada.

$$Bstw = Bstw + BSRw \quad (8.5)$$

Onde, s=2 corresponde a matéria-prima reciclada.

Da mesma forma que as quantidades de compra do material para reciclagem, podem existir momentos em que o fornecedor de matéria-prima já reciclada também não poderá atender toda a demanda, sendo necessário comprar essa falta por meio do fornecedor de material virgem, onde essa falta é calculada pela equação (8.6), e recebe a mesma interpretação dada a compra de material substituto de matéria-prima já reciclada(BSR).

$$BSVw = Bstw - BPstw \quad (8.6)$$

Onde, s=2 corresponde a matéria-prima reciclada.

8.3.3 Para o fornecedor de matéria-prima virgem

Por fim, a reposição de matéria-prima virgem é realizada de forma periódica com um intervalo semanal e a sua compra supri as necessidades de sua própria demanda e das faltas provenientes da demanda de material já reciclado e não reciclado. Logo essa quantidade pode ser definida pela equação (8.7), onde as compras de material para produção são dispostas pela equação (8.1) acrescidas da necessidade dessa matéria para substituir a matéria não reciclada e a matéria já reciclada.

$$Bstw = Bstw + BSVw \quad (8.7)$$

Onde, $s=1$ corresponde a matéria-prima virgem.

9 Validação do Modelo e Resultados

9 VALIDAÇÃO DO MODELO E RESULTADOS

Como resultados desta monografia, foram obtidas uma modelagem matemática que resulta nos níveis ótimos de matéria-prima em estoque que deve existir na Sanplastil e uma política de ressuprimento que informa as quantidades de compras e os momentos para a realização delas. Como dito na metodologia desta monografia, foi criado um sistema computacional por meio do software Code::Blocks, para a realização dos cálculos do modelo matemático por meio da heurística do Recozimento Simulado.

Para a validação desse sistema, foi criado um exemplo, onde são dados valores fictícios às constantes do modelo e a partir delas são calculadas as suas constantes dependentes e em sequência os níveis ótimos de produção e de matéria-prima em estoque. A Tabela 9.1 mostra os valores dados as constantes como input.

Tabela 9.1 – Input colocado no sistema

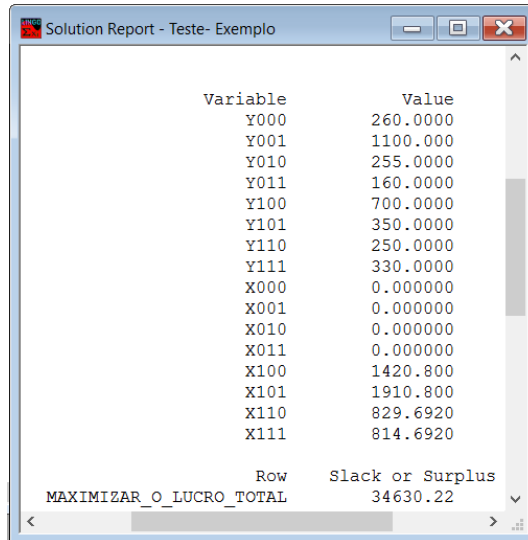
Constantes	Valores	
N- Número de semanas para a previsão de demanda	5	
W – Número de semanas que se quer planejar	2	
P – Número total de produtos fabricados	2	
S – Número total de fornecedores disponíveis	2	
L – Número total de clientes	2	
T – Número total de tipos de matéria-prima usadas	2	
d – Nível de serviço desejado	0.85	
Cmi – Custo de perda por unidade de matéria-prima	1	
CapS – Capacidade total semanal de produção	3750	3500
SSA – Espaço total semanal disponível para estoques de matéria-prima	10000	10000
UC – Contribuição unitária de cada produto de cada tipo	12	10
	15	13
Fc – Custo fixo de pedir cada tipo de matéria-prima de cada	0.5	0.7

fornecedor	0.85	0.99
C – Custo de compra por quilo de cada matéria-prima de cada fornecedor	8 2	4.5 1.5
LT – É o lead time de reposição de cada matéria-prima	1 1	1 1.5
X0 – É a matéria-prima já existente nos estoques na semana inicial	0 0	0 0
M – É o custo de manutenção anual de cada matéria	0.02 0.02	0.03 0.03
YMA – É o número máximo de pedidos de cada produto, de cada tipo em cada semana em cada cliente	250 100 250 100 10 1000 5 60	200 300 200 300 500 50 50 30
YMI – É o número mínimo de pedidos de cada produto, de cada tipo em cada semana em cada cliente	50 25 50 25 50 25 50 25	10 30 10 30 10 30 10 30
RD – É a demanda real passada nas N semanas de dados históricos:		
93.75 90 500 125 300 93.75 85 500 100 50 93.75 100 500 125 200 100 87 250 100 45		

A partir da leitura das constantes iniciais, o sistema faz o cálculo das constantes dependentes em que a rapidez com que o sistema calcula essas constantes justifica a construção e utilização do sistema, onde o tempo de execução varia entre aproximadamente 0.383 a 0.978 segundos. Esse tempo foi obtido em um exemplo com um total de dois tipos de produtos provenientes de dois fornecedores diferentes, e na Sanplastil podem ser produzidos centenas de produtos provenientes de três fornecedores diferentes. Porém o sistema ainda assim executa os cálculos com um tempo muito menor do que se fosse feito manualmente.

Para a validação do modelo matemático demonstrado na sessão 6, este foi aplicado por meio do modelo de programação linear, pelo software LINGO que resulta nos valores ótimos

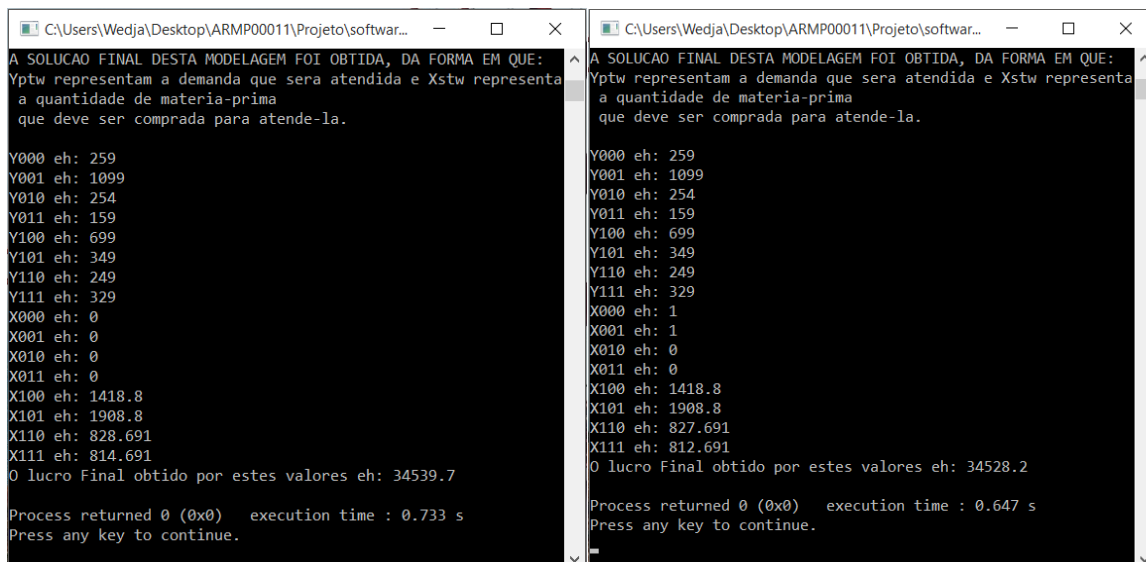
exatos. Essa validação foi realizada com os dados do exemplo demonstrado anteriormente, que foi criado de forma que atendesse aos limites de variáveis que podem ser aplicadas no software. O exemplo possui as suas constantes definidas pela Tabela 9.1 e o *output* dado pelo modelo pode ser visualizada na Figura 9.1.



Variable	Value
Y000	260.0000
Y001	1100.000
Y010	255.0000
Y011	160.0000
Y100	700.0000
Y101	350.0000
Y110	250.0000
Y111	330.0000
X000	0.000000
X001	0.000000
X010	0.000000
X011	0.000000
X100	1420.800
X101	1910.800
X110	829.6920
X111	814.6920
Row	Slack or Surplus
MAXIMIZAR_O_LUCRO_TOTAL	34630.22

Figura 9.1 – Resultado da modelagem por método exato.

Da mesma forma, o exemplo foi aplicado no sistema computacional criado por esta monografia e o seu *output* pode ser visualizado na Figura 9.2, onde como seu programa é baseado em metodologia heurística, por meio de funções randômicas, seus resultados variam, porem resulta em valores aceitáveis e conformes com o que se necessita.



Variable	Value
Y000 eh:	259
Y001 eh:	1099
Y010 eh:	254
Y011 eh:	159
Y100 eh:	699
Y101 eh:	349
Y110 eh:	249
Y111 eh:	329
X000 eh:	0
X001 eh:	0
X010 eh:	0
X011 eh:	0
X100 eh:	1418.8
X101 eh:	1908.8
X110 eh:	828.691
X111 eh:	814.691
O lucro Final obtido por estes valores eh:	34539.7

Variable	Value
Y000 eh:	259
Y001 eh:	1099
Y010 eh:	254
Y011 eh:	159
Y100 eh:	699
Y101 eh:	349
Y110 eh:	249
Y111 eh:	329
X000 eh:	1
X001 eh:	1
X010 eh:	0
X011 eh:	0
X100 eh:	1418.8
X101 eh:	1908.8
X110 eh:	827.691
X111 eh:	812.691
O lucro Final obtido por estes valores eh:	34528.2

Figura 9.2 – Resultado da modelagem por método heurístico rodado duas vezes.

Verifica-se, portanto, que os resultados obtidos pela heurística seguida, se mostram adequados para a aplicação na empresa, tanto em questões de resultados, como em melhor adequação com as características da empresa. Ou seja, o modelo exato retornou variáveis que acarretam em um lucro máximo de R\$ 34.630,22 e o modelo heurístico retorna valores aproximados aceitáveis, tendo em vista a grande quantidade de produtos que podem ser planejados por meio desta técnica. O modelo pode, portanto, ser aplicado tanto por meio da técnica exata, quando pela técnica heurística, com a diferença que a heurística possui uma maior capacidade de realizar planejamentos para um maior número de produtos.

Além disso, o sistema criado realiza os cálculos de todas as constantes do modelo e em seguida já implementa a técnica heurística sem a necessidade de intervenção manual, já o software utilizado pela técnica exata necessita que as constantes sejam calculadas separadamente e então colocadas em sua forma correta na área de modelagem do software.

A partir das informações obtidas na empresa e das planilhas disponibilizadas por ela, foi possível aplicar uma demanda histórica da empresa, referente ao primeiro semestre de 2017, no modelo matemático pela técnica heurística, para o planejamento de compras de matérias-primas para a produção de dez tipos de produtos para duas semanas, onde a saída do programa pode ser visualizada na Figura 9.3. A saída mostra a grande quantidade de variáveis que devem ser manipuladas e que podem ser aumentadas não só pelo número de produtos que podem ser colocados no planejamento, mas também se o número de semanas para planejamento for aumentado.

```

C:\Users\Wedja\Desktop\ARMP00011\Projeto\...
A SOLUCAO FINAL DESTA MODELAGEM FOI OBTIDA, DA FORMA EM
QUE:
Yptw representam a demanda que sera atendida e Xstw repr
esenta a quantidade de materia-prima
que deve ser comprada para atende-la.

Y000 eh: 5
Y001 eh: 5
Y010 eh: 25
Y011 eh: 537
Y100 eh: 478
Y101 eh: 294
Y110 eh: 7
Y111 eh: 5
Y200 eh: 5
Y201 eh: 8
Y210 eh: 25
Y211 eh: 28
Y300 eh: 295
Y301 eh: 491
Y310 eh: 27
Y311 eh: 28
Y400 eh: 6
Y401 eh: 9
Y410 eh: 28
Y411 eh: 29
Y500 eh: 7
Y501 eh: 5
Y510 eh: 24
Y511 eh: 27
Y600 eh: 49
Y601 eh: 193

Y511 eh: 27
Y600 eh: 49
Y601 eh: 193
Y610 eh: 6
Y611 eh: 7
Y700 eh: 6
Y701 eh: 8
Y710 eh: 28
Y711 eh: 79
Y800 eh: 6
Y801 eh: 5
Y810 eh: 27
Y811 eh: 79
Y900 eh: 9
Y901 eh: 7
Y910 eh: 37
Y911 eh: 97
X000 eh: 0
X001 eh: 0
X010 eh: 1336.51
X011 eh: 2018.51
X100 eh: 867
X101 eh: 1025
X110 eh: 0
X111 eh: 0
X200 eh: 0
X201 eh: 0
X210 eh: 0
X211 eh: 0
O lucro Final obtido por estes valores eh: 7931.51
Process returned 0 (0x0)   execution time : 1.450 s

```

Figura 9.3 – Resultado da modelagem por método heurístico para Sanplastil.

Verifica-se um aumento do tempo, para processamento do sistema, em comparação com a aplicação do exemplo mostrado anteriormente na Figura 9.2, porém este aumento não se mostrou relevante e continua extremamente eficiente levando em consideração que o sistema calcula níveis ótimos para tantas variáveis. Esta aplicação mostra o impacto causado pela implementação deste modelo nos planejamentos da empresa, onde por meio de um arquivo de entrada, em segundos, já são disponíveis os níveis ótimos de cada produto que deve ser produzido e de matéria-prima que deve estar disponível em estoque.

Além dos benefícios promovidos à própria empresa que terá a possibilidade de controlar seus estoques, por meio de um sistema simples e rápido, esta monografia espera contribuir de forma positiva a comunidade científica, servindo de fonte de dados e estudo a outros pesquisadores que buscam pesquisas na mesma área de produção tratada ou em estudos sobre gerenciamento de estoques. Resultou ainda em contribuição acadêmica e pessoal a aluna responsável por esta monografia, que teve a oportunidade de conhecer o processo produtivo da indústria de plásticos e de trabalhar com esta, pondo em prática metodologias estudadas durante a graduação.

10 Conclusões

10 CONCLUSÕES

Na presente monografia foram realizados estudos na empresa Sanplastil, uma produtora de sacolas plásticas localizada no interior de Pernambuco, onde foram aplicadas metodologias para o gerenciamento de estoques da empresa. Como resultado, foi obtido um modelo matemático que se adequa às necessidades específicas da empresa e que foi validado por meio da sua aplicação tanto no software LINGO, como na ferramenta computacional elaborada com base na heurística Recozimento Simulado. Além disso, foi obtida uma política de ressuprimentos, que ajusta as ordens de compras de matérias-primas quando necessário.

A construção desta ferramenta computacional por meio de heurística se mostrou necessária, tendo em vista a complexidade do problema real, não sendo possível a aplicação do modelo no LINGO quando houver a necessidade de planejamento para um número elevado de produtos. A análise da aplicação desta ferramenta mostrou resultados adequados, proporcionando tempos de processamento eficientes, resultados aproximados com aqueles apresentados por técnica de resolução exata e melhor interface em comparação com o LINGO.

Infelizmente, devido ao pouco tempo disponível para a construção do programa e desta monografia, a aplicação da política de ressuprimento não pôde ser aplicada de forma contínua na empresa para uma maior análise do seu impacto nela, porém é objetivo deste trabalho a posterior aplicação continuada dessa política, bem como a realização de possíveis melhoramentos e integrações com outros projetos da empresa.

Como proposta para trabalho futuro, pode ser realizada a criação de outro sistema computacional, ou a continuação do já construído, que possa realizar controles de estoques diários na empresa, nele poderiam ser aplicados os cálculos da política de ressuprimento da empresa, que teria os níveis de estoques atualizados diariamente e em consequência disto resultaria em níveis de ordens de compras de materiais substitutos de forma ainda mais eficiente.

É importante destacar que a Sanplastil está sendo estudada por alunos do grupo de pesquisa Gammas desta instituição de ensino superior, para a criação de outras metodologias de melhoramento de seus processos, e a aplicação destas metodologias de forma integrada é uma

visão deste grupo, o que pode tornar os processos da empresa mais eficientes do que se aplicados de forma segregada.

REFERÊNCIAS

BALLOU, R.H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial**. 5ªed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

CHAVES, A. A. **Modelagens exatas e heurística para resolução do problema do caixeiro viajante com coleta de prêmios**. Ouro Preto: Monografia para bacharel em ciência da computação da UFOP, 2003.

CODE::BLOCKS. **The open source, cross platform, free C, C++ and Fortran IDE** <http://www.codeblocks.org/>, <Acesso em agosto de 2017>.

COSTA, T.S.; BARROS, V.H.; OLIVEIRA, A.C.M. **Recozimento simulado na alocação de navios a berços em portos graneleiros com restrições de nível de estoque e condições favoráveis de marés**. II Jornada de informática do maranhão, 2008.

DIAS, M.A. Administração de materiais. In: CUNHA, M.P. **Reestruturação do estoque da indústria de plásticos Mondiana**. Biguaçu: Trabalho de conclusão de estágio do curso de administração apresentado ao centro de educação UNIVALI, 2006.

FARIA, J.A.F.; FORLIN, F.S. **Considerações sobre a reciclagem de embalagens plásticas**. Campinas: Polímeros: Ciência e Tecnologia, p. 1-10, 2002, Vol.12 (série nº1).

GOLDBARG, M.C.; LUNA, H.P.C. Otimização combinatória e programação linear- modelos e algoritmos. In: MACHADO, E.S. **Utilização da metaheurística do recozimento simulado na otimização do planejamento de sistemas regionais de tratamento de efluentes e sua expansão da capacidade**. São Paulo: Tese de doutorado, 2009.

HILLIER, F.S.; LIEBERMAN, G.J. **Introdução à pesquisa operacional**. Bookman, p.798, 2012, v. 09.

LINDO SYSTEMS, Inc. **LINGO 17.0 - Optimization Modeling Software for Linear, Nonlinear, and Integer Programming**. <http://lindo.com/index.php/products/>, <Acesso em agosto de 2017>.

- MACHADO, E. S. **Utilização da metaheurística do recozimento simulado na otimização do planejamento de sistemas regionais de tratamento de efluentes e sua expansão da capacidade.** São Paulo: Tese de doutorado em Engenharia civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2009.
- MARINS, F.A.S.; PADILHA, T.C.C. **Sistemas ERP** – características, custos e tendências. São Paulo, S. n, 2003.
- METROPOLIS, N.; ROSENBLUTH, A. W.; ROSENBLUTH, N.; TELLER, A.H. **Equation of state calculations by fast computing machines.** Chicago: The journal of chemical physics, 1953, v. 21.
- MOREIRA, D.A. **Administração da produção e operações.** 2ªed. São Paulo: Cengage Learning, 2009.
- SACCO, W.F.; OLIVEIRA, C.R.E.; PEREIRA, C.M.N.A. **Two stochastic optimization algorithms applied to nuclear reactor core design.** In Progress in Nuclear Energy, Elsevier, 2005, p. 525-539.
- SEBRAE. **Participação das micro e pequenas empresas na economia brasileira.** Brasília: Sebrae, 2014.
- SEBRAE. **Sobrevivência das empresas no Brasil** – especialistas em pequenos negócios. Brasília: Sebrae, 2016.
- SILVA, A. S. N. **Estudo e implementação, mediante recozimento simulado, do problema de alocação de salas.** Lavras: Monografia para bacharel em ciência da computação, 2005.
- SLACK, N.; BETTS, A.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Gerenciamento de operações e de processos:** princípios e práticas de impacto estratégico. Porto Alegre: Bookman, 2008.
- SODRÉ, U. **Modelos matemáticos.** Londrina: Doutor em matemática da Universidade Estadual de Campinas, 2007.
- SOLOMON, S. A. **Grande Importância da Pequena Empresa** - A Pequena Empresa nos Estados Unidos e no Mundo. Rio de Janeiro: Nórdica, 1986.

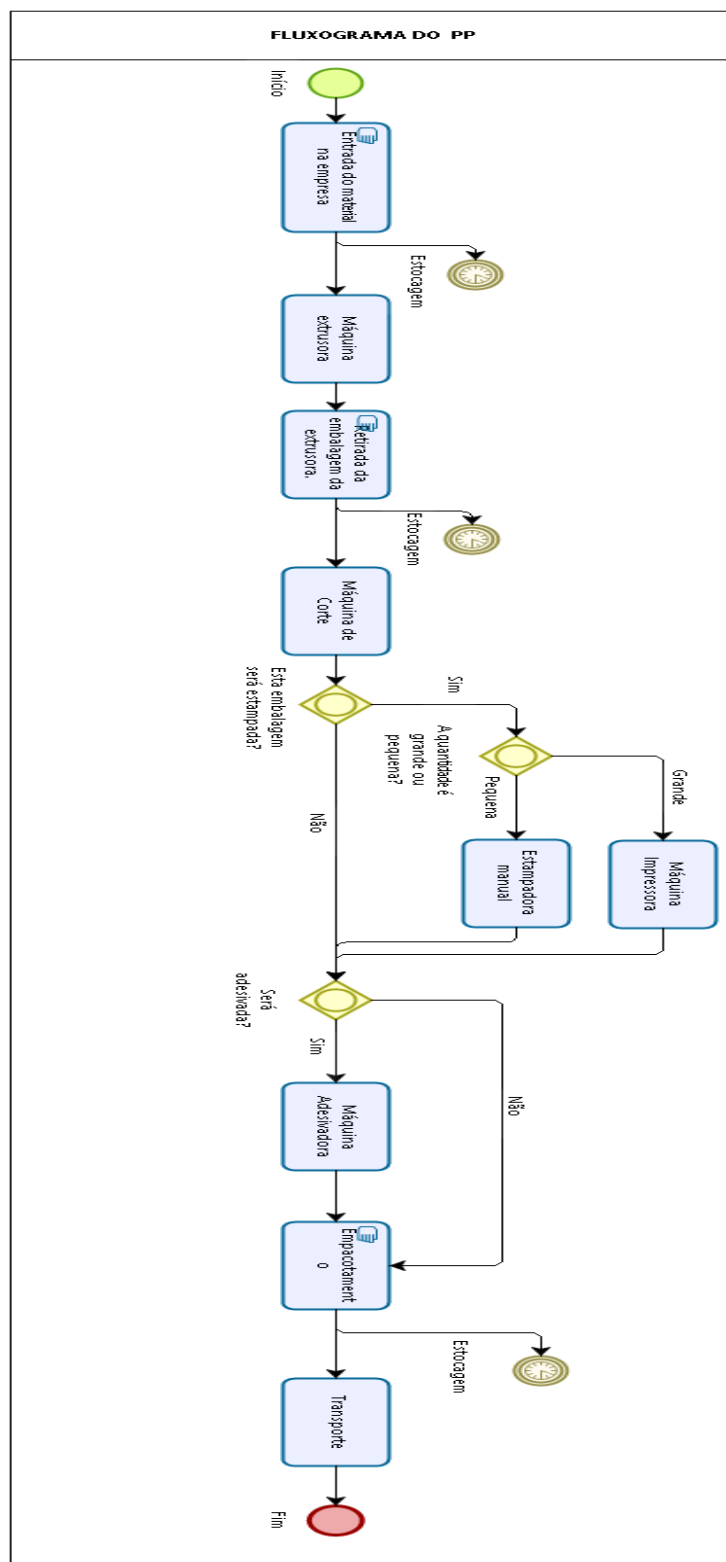
TAHA, H. A. **Pesquisa Operacional** – uma visão geral. 8ªed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

TONETTO, L. M.; KALIL, L.L.; MELO, W.V.; SCHNEIDER, D.D.G.; STEIN, L.M. **O papel das heurísticas no julgamento e na tomada de decisão sob incerteza**. Campinas: Estudos de psicologia, 2006, p. 181 – 189.

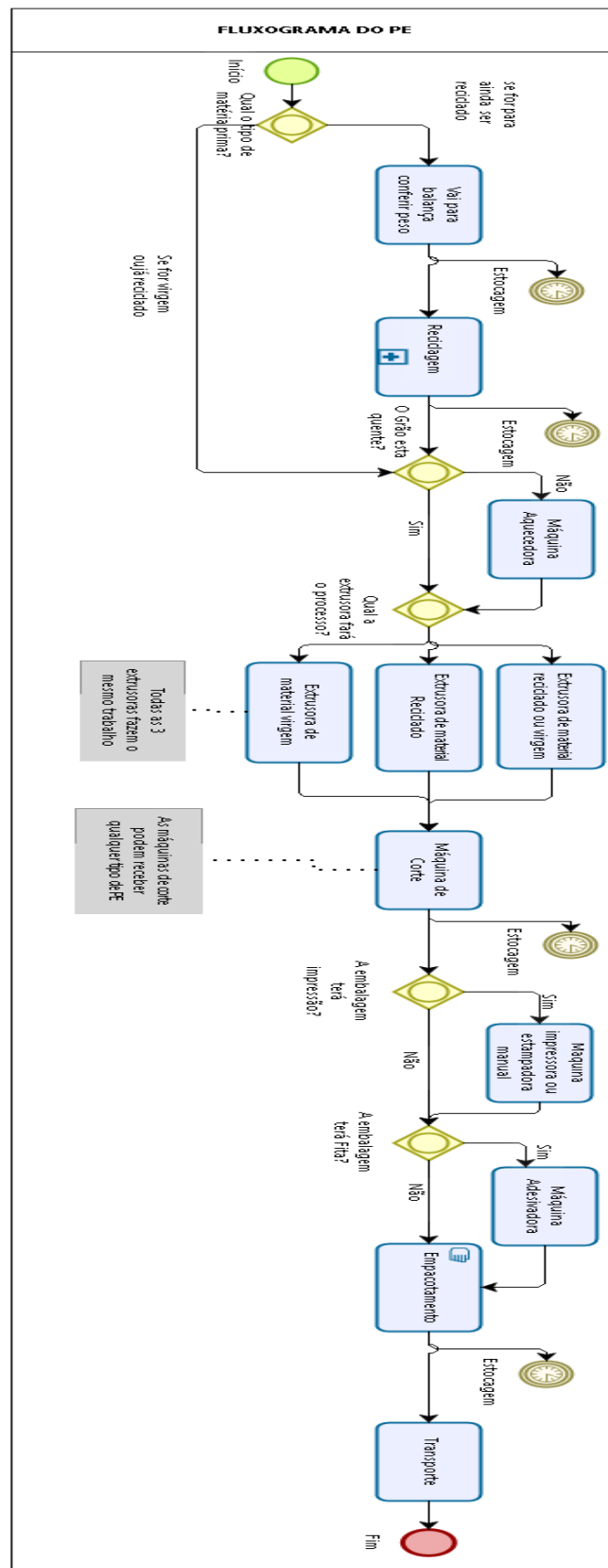
VIEIRA, G. E.; JUNIOR, O. G.; SOARES, M. M. **Otimização do planejamento mestre da produção através de algoritmos genéticos**. Curitiba: XXII ENEGEP, 2002.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Fluxograma do processo do Polipropileno



APÊNDICE B - Fluxograma do processo do Polietileno



APÊNDICE C - Processo de reciclagem do Polietileno

