

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO - UNIRIO  
Centro de Ciências Exatas e Tecnologia - CCET  
Escola de Engenharia de Produção - EEP  
Curso de Bacharelado em Engenharia de Produção - BEP

APLICAÇÃO DA PESQUISA OPERACIONAL PARA REDUÇÃO DE  
CUSTOS NA PROGRAMAÇÃO DAS LINHAS DE PRODUÇÃO DE  
UMA MULTINACIONAL DE COSMÉTICOS

POR

**DANIELLE MAGALHÃES DE ALMEIDA**

**Orientadora**  
Andréa Soares Bonifácio

Rio de Janeiro, RJ - Brasil  
Fevereiro/2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO - UNIRIO  
Centro de Ciências Exatas e Tecnologia - CCET  
Escola de Engenharia de Produção - EEP  
Curso de Bacharelado em Engenharia de Produção - BEP

APLICAÇÃO DA PESQUISA OPERACIONAL PARA REDUÇÃO DE CUSTOS  
NA PROGRAMAÇÃO DAS LINHAS DE PRODUÇÃO DE UMA  
MULTINACIONAL DE COSMÉTICOS

DANIELLE MAGALHÃES DE ALMEIDA

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Departamento de  
Engenharia de Produção como  
cumprimento parcial para a conclusão do  
curso de Bacharelado em Engenharia de  
Produção.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Andréa Soares Bonifácio

---

Andreia Ribeiro Ayres

---

William David Morán Herrera

Rio de Janeiro, RJ - Brasil  
Fevereiro/2017

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado forças para continuar nos momentos em que pensei em desistir.

Agradeço à minha mãe, avó, e toda a minha família por acreditarem em mim quando eu não acreditava; pelo amor, pelo apoio incondicional e compreensão ao longo desses anos de dedicação aos estudos.

Agradeço aos amigos, a família que eu escolhi, por me impulsionarem a ir além, por compreenderem minhas ausências e por tornarem essa jornada menos árdua. Agradecimento em especial ao Brayan e Vitor por terem vivido comigo essa graduação.

Agradeço à professora Andréa Bonifácio por ter sido minha orientadora, tutora e guia, pelas horas de dedicação, por todo o conhecimento compartilhado, pela paciência, por ter despertado em mim o interesse em pesquisar, publicar artigos, e por ter me apresentado à Pesquisa Operacional dando o direcionamento que faltava à minha carreira profissional.

Agradeço à professora Andreia Ayres por ter sido minha amiga ao longo de minha formação, dando conselhos tanto no âmbito pessoal quanto profissional, e por ter aceitado compor a banca deste trabalho participando de mais essa etapa da minha vida.

Agradeço ao professor William Herrera pelas explicações extra classe, pelo incentivo a tentar o intercâmbio, pela ajuda a compor minha grade curricular na University of Rhode Island e também por ter aceitado compor a banca deste trabalho.

Agradeço a todo o corpo docente do Curso de Engenharia de Produção da UNIRIO por terem me ensinado a pensar, por terem me transformado numa estudante, cidadã e pessoa melhor, por terem me preparado para a vida e para os desafios que virão nessa nova etapa.

Agradeço a todos que estiveram ao meu lado ajudando a transformar o desejo de ser engenheira em realidade.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém  
ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”  
(Arthur Schopenhauer)

## RESUMO

O cenário econômico brasileiro exige que, para manterem seus preços competitivos no mercado, as indústrias invistam em tecnologia e melhorem seu sistema de gestão. As ferramentas da Pesquisa Operacional podem ser empregadas para auxiliar nesse processo de tomada de decisão. A empresa analisada neste trabalho é uma multinacional que faz parte do setor de beleza e apresenta uma real necessidade do emprego de métodos determinísticos. O sequenciamento da produção é definido manualmente pela equipe de PCP e tal subjetividade impacta diretamente nos resultados operacionais das produções. A Pesquisa Operacional neste trabalho visa racionalizar esse processo otimizando os recursos disponíveis de modo a garantir uma redução no preço final dos produtos. O objetivo deste trabalho foi determinar a programação da produção e distribuição de produtos por linhas de envase. Focou-se em produtos classificados como coloração e aplicou-se a Programação Linear propondo um modelo de resolução utilizando um problema clássico da Pesquisa Operacional: o Problema do Transporte. Utilizou-se a ferramenta Solver do software Microsoft Excel para encontrar a solução ótima. O uso de métodos determinísticos mostrou-se eficaz e o modelo proposto resulta na redução de 38% dos custos de produção evidenciando que a Pesquisa Operacional é uma ferramenta efetiva no apoio à tomada de decisão.

**Palavras-chave:** Pesquisa Operacional, Programação Linear, Problema do Transporte.

## ABSTRACT

The Brazilian economic scenario requires that, in order to keep their prices competitive in the market, industries invest in technology and improve their management system. Operational Research tools can be used to assist in this decision-making process. The company analyzed in this work is a multinational that is part of the beauty sector and presents a real need for the use of deterministic methods. The production sequencing is manually defined by the PPC team and such subjectivity directly impacts the operational results of the productions. The Operational Research in this work aims to rationalize this process optimizing the available resources in order to guarantee a reduction in the final price of the products. The objective of this work was to determine the scheduling of production and distribution of products by filling lines. It focused on products classified as coloring and Linear Programming was applied proposing a model of resolution using a classic problem of Operational Research: the Transportation Problem. The Microsoft Excel software Solver tool was used to find the optimal solution. The use of deterministic methods proved to be effective and the proposed model results in a 38% reduction in production costs, showing that the Operational Research is an effective tool to support decision making.

**Keywords:** Operational Research, Linear Programming, Transportation Problem.

## ÍNDICE DE TABELAS

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela I: Classificação das classes sociais de acordo com a faixa salarial..... | 12 |
| Tabela II: Relacionamento Linhas de envase - Famílias de coloração.....         | 19 |
| Tabela III: Custo total unitário de produção por linha.....                     | 30 |
| Tabela IV: Capacidade mensal por linha de produção.....                         | 32 |
| Tabela V: Demanda prevista de Jan a Nov/2016.....                               | 32 |
| Tabela VI: Estruturação do problema para o mês de Janeiro.....                  | 33 |
| Tabela VII: Solução ótima de distribuição para Janeiro.....                     | 35 |
| Tabela VIII: Comparativo de custo sem e com a aplicação da PO.....              | 37 |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| Gráfico I: <i>Market Share</i> no Brasil até Jan/2015..... | 17 |
|------------------------------------------------------------|----|



## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Linhas de envase.....                                                    | 18 |
| Figura 2: Fluxograma da cadeia do planejamento da produção.....                    | 21 |
| Figura 3: Digrafo representando a alocação de famílias de Coloração por linha..... | 31 |
| Figura 4: Parâmetros do Solver.....                                                | 34 |
| Figura 5: Relatório de Respostas gerado pelo Solver.....                           | 39 |
| Figura 6: Relatório de Sensibilidade gerado pelo Solver.....                       | 41 |

## ÍNDICE

|                                            |    |
|--------------------------------------------|----|
| <b>CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO</b>             | 11 |
| <b>1. Introdução</b>                       | 11 |
| 1.1. Considerações iniciais                | 11 |
| 1.2. Justificativa                         | 13 |
| 1.3. Escopo do trabalho                    | 13 |
| 1.4. Objetivos                             | 14 |
| 1.5. Organização do texto                  | 14 |
| 1.6. Metodologia                           | 15 |
| <b>CAPÍTULO II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> | 16 |
| <b>2. Revisão Bibliográfica</b>            | 16 |
| 2.1. Apresentação da empresa               | 16 |
| 2.2. Planejamento da Produção              | 19 |
| 2.3. Pesquisa Operacional                  | 21 |
| 2.4. Programação Linear                    | 24 |
| 2.5. O Problema de transporte (PT)         | 25 |
| <b>CAPÍTULO III - METODOLOGIA</b>          | 29 |
| <b>3. Metodologia</b>                      | 29 |
| <b>CAPÍTULO IV - RESULTADOS</b>            | 35 |
| <b>4. Resultados</b>                       | 35 |
| <b>CAPÍTULO V - CONCLUSÃO</b>              | 42 |
| <b>5. Conclusões</b>                       | 42 |
| 5.1. Considerações finais                  | 42 |
| 5.2. Sugestões para próximos estudos       | 42 |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>          | 44 |

## **CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO**

### **1. Introdução**

#### **1.1. Considerações iniciais**

O setor da beleza fechou o ano de 2015 com queda de 6% no faturamento. Há 20 anos a indústria de beleza não apresentava queda, sendo conhecida por não se abalar com as instabilidades na economia. João Carlos Basilio, presidente executivo da Associação das Indústrias, acredita que são vários os motivos para o tombo: alta do dólar, aumento de impostos e a insegurança provocada pela crise.

Dentro das características de cada produto, em relação a sua demanda, eles podem ser classificados como bens elásticos ou inelásticos. Baídya, Aiube e Mendes (1999), explicam como funciona essa diferenciação. Bens inelásticos são aqueles que quando ocorre uma alteração no preço do produto, sua demanda tem variação irrisória ou nula. É o caso do sal de cozinha, por exemplo. O consumidor não passa a comprar uma quantidade maior se o preço cair. Ou um remédio vital, onde o consumidor não deixa de adquirir se o preço aumentar. Por outro lado, existem os bens elásticos. Uma alteração no preço do produto gera uma resposta de intensidade proporcionalmente inversa à demanda. Isso quer dizer que, se um produto tem seu preço elevado, o consumidor irá buscar alternativas de troca para o item. O consumidor deixa de comprar uma carne nobre e passa a comprar uma mais barata, por exemplo. Produtos de beleza são considerados não essenciais por serem produtos com substitutos fáceis. Colorações de uma marca mais cara, podem ser substituídas por uma de preço mais acessível. Portanto, produtos de beleza têm sua demanda caracterizada como elástica.

De acordo com o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae), 600 mil negócios são formalizados no mercado de beleza por ano. O Brasil é o terceiro mercado global em beleza, atrás da China e dos Estados Unidos. Segundo a Abihpec (Associação Brasileira da Indústria de Higiene

Pessoal, Perfumaria e Cosméticos), o brasileiro destina 2% do seu orçamento à compra de produtos de higiene e beleza, movimentando US\$ 43,5 bilhões em 2014.

A visão governamental das classes sociais utilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) é baseada no número de salários mínimos e divide a população em cinco faixas de renda conforme a Tabela I abaixo, considerando o salário mínimo em R\$880,00 em 2016.

Tabela I: Classificação das classes sociais de acordo com a faixa salarial.

| Classe | Número de Salários-Mínimo (SM) | Renda Familiar (R\$) em 2016 |
|--------|--------------------------------|------------------------------|
| A      | Acima de 20 SM                 | R\$ 17.600,01 ou mais        |
| B      | De 10 a 20 SM                  | R\$ 8.800,01 a R\$ 17.600,00 |
| C      | De 4 a 10 SM                   | R\$ 3.720,01 a R\$ 8.800,00  |
| D      | De 2 a 4 SM                    | R\$ 1.760,01 a R\$ 3.720,00  |
| E      | Até 2 SM                       | Até R\$ 1.760,00             |

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

O consumidor brasileiro muda de faixa de preço mas não corta os produtos de higiene e beleza da lista de compras. A equipe de marketing da empresa analisada neste trabalho, através de um amplo estudo do mercado consumidor realizado anualmente, definiu que os produtos analisados neste trabalho são voltados para as classes C e D.

O cenário atual do país exige inovação, criatividade, investimento em novas tecnologias e melhoria no sistema de gestão para que a indústria da beleza recupere o seu desempenho e não sucumba à recessão. O setor da beleza precisa reduzir o preço de seus produtos tornando-os mais competitivos. Considerando a limitação dos recursos produtivos (matéria-prima, insumos, mão de obra), o setor tem o desafio de gerenciar sua produção visando o menor custo possível. É nesse contexto que as ferramentas da Pesquisa Operacional (PO) podem ser empregadas para auxiliar na tomada de decisão no nível estratégico.

A PO é uma ciência abrangente e tem sido responsável pela melhoria em eficiência de diversas organizações de setores distintos. É possível perceber sua aplicação em agronegócios, bancos, telecomunicações e transportes. Neste trabalho, a Pesquisa Operacional será utilizada para traçar a melhor alocação de produtos por linhas de envase visando a redução dos custos produtivos em uma empresa multinacional do setor da beleza.

## **1.2. Justificativa**

A empresa escolhida para a realização deste trabalho deve-se a três fatores: facilidade no acompanhamento da definição do planejamento e sequenciamento de produção pela equipe de Planejamento e Controle da Produção (PCP); acesso à informação e metodologia dos processos produtivos; e real necessidade do emprego de métodos determinísticos na tomada de decisão para evitar perdas e desperdícios.

O sequenciamento da produção é definido manualmente pela equipe de PCP que escolhe a melhor forma de planejamento considerando o formato dos produtos, o volume a ser produzido e a mão de obra disponível. Tal subjetividade impacta diretamente nos resultados operacionais das produções.

Na empresa analisada existe uma carência de utilização de técnicas científicas nos processos de tomadas de decisão industrial. A Pesquisa Operacional neste trabalho visa racionalizar o processo de tomada de decisão otimizando os recursos disponíveis de modo a garantir uma redução no preço final dos produtos.

## **1.3. Escopo do trabalho**

Este trabalho propõe-se a montar um modelo de distribuição de produtos por linhas de envase para uma multinacional do ramo de cosméticos levando em consideração apenas os itens classificados como coloração. A empresa em questão produz itens classificados em dois grandes grupos: coloração e *skincare* (cuidados com a pele). A escolha pelo primeiro tipo deve-se ao maior volume

anual de demanda, que implica em uma necessidade de acerto no uso dos recursos disponíveis, podendo resultar num ganho financeiro proporcionalmente maior.

#### **1.4. Objetivos**

O objetivo principal deste trabalho é determinar a programação da produção e distribuição de produtos por linhas de envase através das ferramentas da Pesquisa Operacional para uma empresa multinacional do setor de beleza.

O objetivo específico, focando em produtos classificados como coloração, é a redução de custos possibilitando que os itens cheguem ao mercado com um preço mais competitivo.

#### **1.5. Organização do texto**

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos:

- **Capítulo I – Introdução:** engloba principalmente a justificativa para a realização deste trabalho, seus objetivos, importância e motivação.
- **Capítulo II – Revisão Bibliográfica:** engloba o estado da arte, apresenta a empresa escolhida e conceitua a Pesquisa Operacional explicando como funcionam suas ferramentas.
- **Capítulo III – Metodologia:** explicita como o trabalho foi realizado e de que forma a Pesquisa Operacional foi empregada para a resolução do problema proposto.
- **Capítulo IV – Resultados:** expõe os resultados obtidos com a aplicação da Pesquisa Operacional e sua contribuição para atingir os objetivos propostos.
- **Capítulo V – Conclusões:** reúne as considerações finais, assinala as contribuições da pesquisa e sugere possibilidades de aprofundamento posterior.

## **1.6. Metodologia**

De acordo com Vergara (2007), os tipos de pesquisa podem ser definidos por dois critérios: quanto aos fins e quanto aos meios. Quanto aos fins, este trabalho classifica-se como pesquisa aplicada porque apresenta necessidade de resolver problemas que existem na prática. Quanto aos meios, classifica-se como pesquisa de campo porque é baseado em experiências aplicadas na investigação do problema enquanto a pesquisa é realizada exatamente no local onde os dados e fenômenos são observados e estudados.

Realizou-se uma pesquisa bibliográfica sobre a utilização da Pesquisa Operacional no processo de tomada de decisão de indústrias de ramos diversos e especificamente no setor de beleza no que tange o plano de produção. Algumas reuniões com a equipe de Planejamento e Controle da Produção foram necessárias para o real entendimento de como era montado o planejamento e sequenciamento da produção na empresa escolhida para o estudo. Reuniões com a equipe de finanças também foram realizadas para coletas de dados orçamentários como o custo de produção de cada item. Identificou-se as variáveis de decisão do modelo, as restrições e definiu-se a função objetivo propondo um modelo de resolução utilizando um problema clássico da Pesquisa Operacional: o Problema do Transporte.

## CAPÍTULO II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2. Revisão Bibliográfica

#### 2.1. Apresentação da empresa

A empresa escolhida para o presente trabalho é uma multinacional presente em 130 países, líder global em cosméticos, atuante no segmento da beleza há mais de um século. No Brasil, a organização conta com 5 mil colaboradores, 3 fábricas, sendo 2 localizadas no Rio de Janeiro e 1 em São Paulo, 3 Centros de Distribuição localizados no Rio de Janeiro e 1 Centro de Pesquisa & Inovação para toda a América Latina.

A pesquisa exploratória foi realizada em uma das fábricas instaladas no Rio de Janeiro. Ela possui 15 linhas de envase<sup>1</sup> e 16 reatores de fabricação<sup>2</sup> onde trabalham 350 funcionários efetivos produzindo 430 milhões de unidades por ano de produtos.

Nessa unidade, encontra-se um dos portfólios mais complexos do mundo para a divisão da empresa, sendo especializada em coloração (tintas para cabelo) e bisnagas plásticas de *skincare* (cuidados com a pele).

O Brasil é considerado um país estratégico para a empresa pois é o que mais exporta para a América do Sul dentre todos os países desse continente. Além disso, o mercado brasileiro é visto como uma grande oportunidade de vendas e crescimento para a empresa.

---

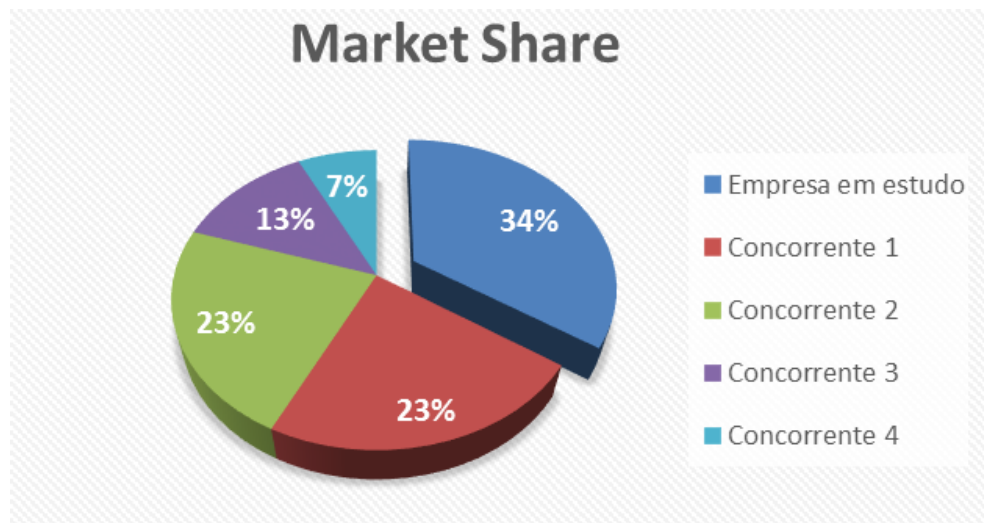
<sup>1</sup> Linhas de envase: as linhas de produção recebem esse nome pois contêm um equipamento chamado envasadora que faz o envasamento de produtos nas bisnagas evitando o contato manual com o produto.

<sup>2</sup> Reatores de fabricação: reatores são grandes tanques com motores desenvolvidos para fabricação de produtos de média e alta viscosidade cuja preparação requer alta eficiência e homogeneização de temperatura via agitação. A principal finalidade de um reator é transformar reagentes em variados produtos através do controle de pressão para que as reações químicas ocorram da maneira ideal.



Abaixo, o Gráfico I mostra o *market share* da empresa em análise neste trabalho frente seus principais concorrentes.

**Gráfico I: *Market Share* no Brasil até Jan/2015.**



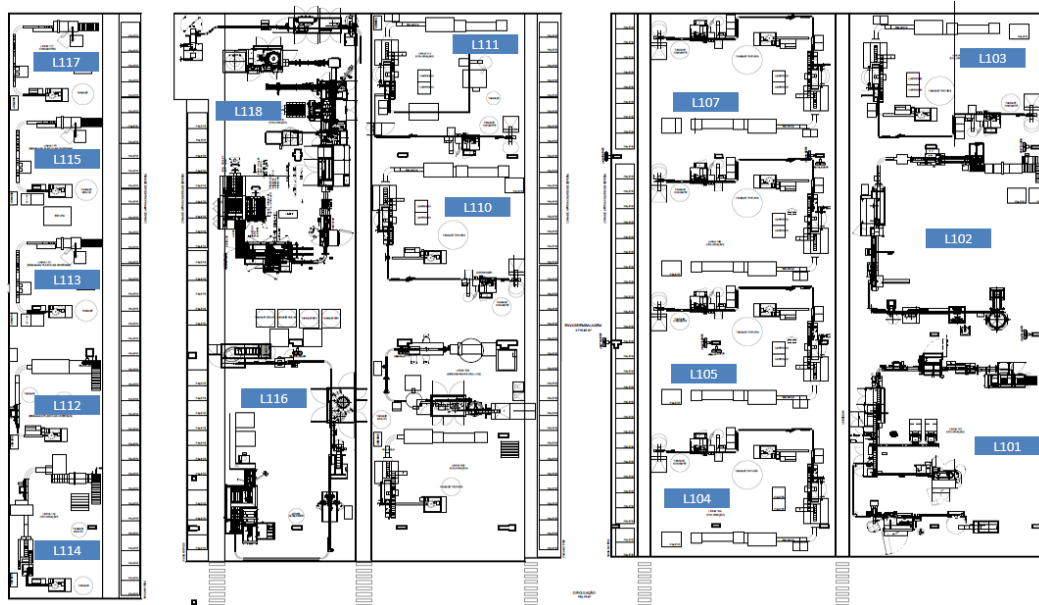
Fonte: Elaboração própria com dados Nielsen.

Princípios da empresa:

- Missão: oferecer a todas as mulheres e homens do mundo inteiro o melhor da inovação em cosmética em termos de qualidade, eficácia e segurança.
- Visão: para os próximos anos, conquistar mais um bilhão de novos consumidores no mundo ao criar produtos cosméticos que atendem à infinita diversidade de suas necessidades e seus desejos de beleza.
- Valores: inovação, espírito empreendedor, excelência, responsabilidade e respeito.

Abaixo a planta baixa da fábrica em estudo com a disposição das linhas de envase (Figura 1).

Figura 1: Linhas de envase.



Fonte: Departamento de manutenção predial da empresa.

As linhas e reatores são divididos conforme característica dos equipamentos, especialidade e tipo de produto. Os produtos classificados como coloração são divididos em 5 famílias. Por questões de confidencialidade, os produtos serão chamados de Coloração 1, Coloração 2, Coloração 3, Coloração 4 e Coloração 5. Cada tipo de Coloração é envasado num tipo diferente de bisnaga metálica. Os tamanhos e diâmetros das bisnagas variam conforme a característica e marca de cada coloração. Por limitações mecânicas de tamanho e selamento de cada bisnaga, as linhas são divididas por capacidade de produção de cada tipo dentre os 5 de coloração.

A Tabela II abaixo mostra para cada linha de envase quais colorações ela é capaz de produzir. Assim, a linha L102 é capaz de produzir as Colorações 1, 2, 3 e 4. Portanto, a Coloração 5 não pode ser produzida nessa linha porque sua bisnaga tem um diâmetro maior que não cabe na máquina. Uma reunião com a equipe técnica e mecânica fez-se necessário para obtenção dessas informações e preenchimento da Tabela II.

Tabela II: Relacionamento Linhas de envase - Famílias de coloração.

| <b>Linhas de Envase</b> | <b>Família de coloração</b>                                     |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| L102                    | Coloração 1, Coloração 2, Coloração 3, Coloração 4              |
| L103                    | Coloração 1, Coloração 2, Coloração 3, Coloração 4, Coloração 5 |
| L104                    | Coloração 1, Coloração 2, Coloração 3, Coloração 4, Coloração 5 |
| L105                    | Coloração 3, Coloração 4, Coloração 5                           |
| L110                    | Coloração 1, Coloração 2, Coloração 3, Coloração 4, Coloração 5 |
| L114                    | Coloração 4, Coloração 5                                        |
| L118                    | Coloração 1, Coloração 2, Coloração 3, Coloração 4              |

Fonte: Elaboração própria.

## 2.2. Planejamento da Produção

O planejamento da produção da fábrica começa com o departamento de Marketing responsável pelas famílias de coloração. Ele faz a previsão de vendas de seus produtos junto com as áreas de Gestão Comercial, Suprimentos, Gestão Financeira e *Demand Planning*. Alguns dados do mercado como aquecimento e recessão da economia, datas comemorativas, ciclo de vida dos produtos, novas tecnologias e sazonalidade são utilizados para a realização dessa previsão, além de uma base de dados históricos de vendas.

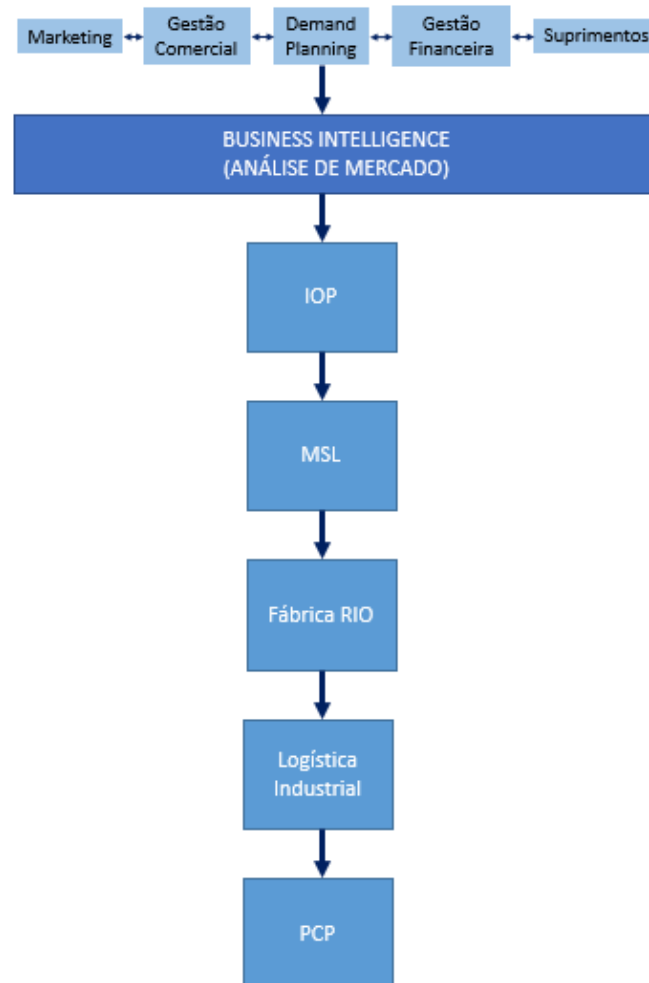
O departamento de *Business Intelligence* realiza a consolidação destas previsões e envia os números para a equipe de IOP (*Integrated Operation Planning*) que analisa a viabilidade do volume produtivo e o repassa para o MSL (*Marketing Supply Logistics*) cuja função é garantir os suprimentos necessários para a produção demandada. O MSL, por sua vez, notifica a área de Logística Industrial, que após receber a consolidação das previsões de venda, analisa o estoque de produtos acabados e insumos, políticas de cobertura, capacidade de produção e produção já programadas. Identifica-se assim, quais produtos estarão disponíveis para entrega imediata e quando os outros que ainda serão produzidos estarão disponíveis, estipulando-se um prazo de entrega.

Vale salientar que o controle de estoque é realizado pela área de Logística Industrial, como explicado anteriormente, junto aos Centros de Distribuição. A empresa não mantém produtos em estoque na fábrica e a equipe de PCP não participa dessa etapa de análise do processo. Se houver falha no planejamento da demanda ou caso a produção seja maior que o esperado porque as perdas foram baixas durante o processo ou ainda, por qualquer outro motivo, é o departamento de Logística Industrial que define junto com a equipe de marketing como tratar os estoques.

Após esse cruzamento de informações, elabora-se o plano de produção da fábrica juntamente com a equipe de PCP que programa as linhas de acordo com os recursos disponíveis de forma manual.

A equipe é dividida entre coloração e *skincare* e o responsável por cada uma envia as ordens de produção para cada linha utilizando o sistema SAP que é um software de gestão empresarial. O SAP mostra o volume máximo que cada linha pode produzir no mês. Essa capacidade guia a equipe de PCP na distribuição dos tipos de coloração por linha. Abaixo um fluxograma mostrando toda a cadeia envolvendo o planejamento da produção (Figura 2).

**Figura 2: Fluxograma da cadeia do planejamento da produção.**



Fonte: Elaboração própria.

### **2.3. Pesquisa Operacional**

Segundo a Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional – SOBRAPO (2016), “a Pesquisa Operacional é uma ciência aplicada voltada para a resolução de problemas reais. Tendo como foco a tomada de decisões, aplica conceitos e métodos de áreas científicas na concepção, planejamento ou operação de sistemas”.

A necessidade da alocação eficiente de recursos escassos em operações militares, durante a Segunda Guerra mundial, fez com que países como Inglaterra

e Estados Unidos montassem equipes multidisciplinares de cientistas com o objetivo de realizar pesquisas sobre tais operações lidando com os problemas tanto de ordem tática quanto operacional. Foi nesse cenário que a Pesquisa Operacional (PO) surgiu. Não tardou até que o sucesso da PO em aplicações militares se estendesse para o setor comercial, industrial e governamental (HILLIER, LIEBERMAN, 2013).

Pode-se entender a tomada de decisão como o processo de identificar um problema ou uma oportunidade e selecionar uma linha de ação para encontrar a solução. Atualmente, o ciclo de tomada de decisão é muito curto tornando-se difícil definir processos com qualidade de forma eficiente. Eduardo de Andrade (2009) explica que “um bom processo de tomada de decisões é a chave para se obter bons resultados”. Ele define ainda a Pesquisa Operacional como a arte de aplicar técnicas de modelagem a problemas de tomada de decisão, e resolver os modelos identificados por meio de métodos matemáticos e estatísticos visando à obtenção de uma solução ótima.

Quando o tomador de decisões encontra-se diante de uma situação na qual uma decisão deve ser tomada entre uma série de alternativas conflitantes e concorrentes, duas opções se apresentam: usar a sua intuição gerencial ou realizar um processo de modelagem da situação e exaustivas simulações dos mais diversos cenários de maneira a estudar mais profundamente o problema.

A primeira opção era a única alternativa viável até pouco tempo atrás. Com a evolução da tecnologia de banco de dados e o aprimoramento dos microcomputadores, um número cada vez maior de empresas começou a optar pela elaboração de modelos para auxiliar no processo de tomada de decisão.

Lachtermacher (2002) salienta que um dos objetivos da Pesquisa Operacional é dar suporte às decisões para que estas sejam independentes do decisor e assegurar que o processo de tomada de decisão seja claro e transparente.

Embora já tenham passado 70 anos desde a sua criação, a Pesquisa Operacional continua sendo o que existe de melhor em se tratando de tecnologia da gestão (COLLIN, 2010).

Um típico estudo de Pesquisa Operacional consiste na utilização de modelos matemáticos, estatísticos e algoritmos computacionais. Após a construção do modelo que representa o sistema real, uma das ferramentas da Pesquisa Operacional é utilizada para que seja encontrada uma solução para o problema inicial.

Um modelo de programação matemática consiste de variáveis consideradas relevantes para o problema, chamadas de *variáveis de decisão*, uma função que se deseja otimizar, chamada *função objetivo*, e é sujeito a um conjunto de funções representando as limitações do problema, chamadas de *restrições do modelo*.

De acordo com Hillier e Lieberman (2013), uma forma de sintetizar as fases usuais de um estudo de Pesquisa Operacional é a seguinte:

1. Definir o problema de interesse e coletar os dados: os problemas enfrentados pelas equipes de Pesquisa Operacional em sua maioria são descritos de forma vaga e imprecisa. Por isso o primeiro passo precisa ser a definição clara do problema traçando seu objetivo apropriado, a disponibilidade dos recursos escassos e exigências impostas seja pelo tomador de decisão, seja pelo mercado, ou qualquer outro agente atuante no mercado. “É difícil obter uma resposta correta a partir de um problema incorreto!”;
2. Formular um modelo matemático para representar o problema: o modelo matemático de um problema de negócios é um sistema de equações e expressões matemáticas relativas que descrevem a essência do problema;
3. Desenvolver um procedimento computacional a fim de derivar soluções para o problema a partir do modelo: aplica-se nesta etapa um procedimento de solução sistêmico chamado algoritmo;
4. Testar o modelo e aprimorá-lo conforme necessário: processo de teste e aperfeiçoamento do modelo para garantir sua validação;

5. Preparar-se para aplicação contínua do modelo: instalação de um sistema bem documentado para aplicação contínua do modelo;
6. Implementar: o novo processo de tomada de decisão é definido e nesta fase garante-se que a solução do problema é eficaz, documentando a metodologia garantindo também a sua replicabilidade no futuro.

Para o desenvolvimento desse trabalho serão seguidas as fases acima.

## **2.4. Programação Linear**

Silva et al (1998) afirmam que uma das técnicas mais utilizadas na abordagem de problemas em Pesquisa Operacional é a Programação Linear. A palavra programação é um sinônimo para planejamento. Portanto, a programação linear envolve o planejamento de atividades para obter um resultado ótimo, isto é, um resultado que atinja o melhor objetivo especificado entre todas as alternativas viáveis.

Hillier e Lieberman (2013) explicam que o adjetivo linear significa que todas as funções matemáticas no modelo proposto são necessariamente funções lineares (tanto a função objetivo quanto as restrições).

Embora o problema da alocação de recursos para determinadas atividades seja o tipo mais comum de aplicabilidade da programação linear, ela tem ainda diversos propósitos.

Ainda de acordo com Lieberman (2013), as hipóteses de programação linear estão implícitas na formulação do modelo e são resumidamente que o modelo deve ter uma função objetivo linear sujeita a restrições lineares além das quatro hipóteses listadas a seguir:

- Proporcionalidade: a contribuição de cada atividade ao valor da função objetivo é proporcional ao nível de cada atividade;
- Aditividade: toda função em um modelo de programação linear é a soma das contribuições individuais das respectivas atividades;



- Divisibilidade: as variáveis de decisão em um modelo de programação linear podem assumir quaisquer valores, inclusive valores não-inteiros, que satisfaçam as restrições funcionais e de não-negatividade;
- Certeza: o valor atribuído a cada parâmetro de um modelo de programação linear é assumido como uma constante conhecida.

Algoritmos são ferramentas matemáticas que possibilitam a resolução de problemas de forma rápida e eficiente. Um algoritmo muito utilizado para resolver problemas de Programação Linear foi criado em 1947 por George Dantzig e denomina-se *método simplex*.

De acordo com Lachtermacher (2002), um tipo de problema real muito especial e comum de aplicação da Programação Linear é conhecido como Problema de transporte. A próxima seção abordará o tema.

## **2.5. O Problema de transporte (PT)**

O Problema de transporte (PT) está normalmente relacionado ao custo e uma relação entre produtor e consumidor, demanda e produção. Esta classe de problemas recebeu esse nome porque seu método de resolução, denominado Método de Transporte, foi inicialmente utilizado para determinar o menor custo de transporte entre diversas fábricas de um produto a diversos centros consumidores.

As principais características do problema de transporte são:

- Envolve minimizar o custo de transporte;
- Atender a demanda;
- Capacidade de entrega ou de produção;
- Determinar o ponto ótimo considerando estes fatores.

É importante salientar que a aplicação do problema do transporte não se limita ao transporte e deslocamento de mercadorias entre origens e destinos

geográficos. Taha (2008) apresenta duas aplicações nas áreas de controle da produção e estoques, e serviço de afiação de ferramentas. O PT pode ser aplicado inclusive, em problemas como a distribuição de materiais por linhas de produtos, e por apresentar essa característica foi escolhido como a melhor forma de resolução do problema apresentado neste trabalho.

O PT é representado por uma rede denominada digrafo. Um *digrafo*  $D(V, A)$  é formado por dois conjuntos:  $V$  é o conjunto de vértices (pontos) e  $A$  é o conjunto de arcos (linhas orientadas) entre os vértices  $i, j \in V$ , com  $|V| \geq 2$  (o símbolo “ $|$ ” denota a cardinalidade do conjunto). Há  $m$  origens e  $n$  destinos, cada um sendo representado por um vértice. Os arcos representam as rotas que ligam as origens aos destinos. O arco  $(i, j)$ , por exemplo, é diferente do arco  $(j, i)$ . A cada arco é atribuído um custo de transporte por unidade,  $c_{ij}$ . A quantidade de suprimento na origem  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) é  $S_i$  e a demanda no destino  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) é  $D_j$ . O objetivo é determinar o número de unidades a serem distribuídas da origem  $i$  para o destino  $j$ , que minimizarão o custo total de transporte e, ao mesmo tempo, satisfaça a todas as restrições de oferta e demanda.

A modelagem do PT consiste em um modelo de programação linear no qual a função objetivo deve ser minimizada. As variáveis de decisão indicam o que deve ser levado de um ponto (origem) ao outro (destino). Considera-se a hipótese de que o custo unitário de transporte de cada origem para cada destino é constante, independentemente da quantidade transportada.

Seja  $x_{ij}$  o número de unidades remetidas da origem  $i$  ao ponto de destino  $j$ ,  $m$  o número de origens e  $n$  o número de destinos, o modelo matemático do problema do transporte é dado por (Hillier e Lieberman, 2013):

$$(1) \quad \min Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

sujeito a

$$(2) \quad \sum_{j=1}^n x_{ij} = S_i, \quad i = 1, \dots, m$$

$$(3) \quad \sum_{i=1}^m x_{ij} = D_j, \quad j = 1, \dots, n$$

$$(4) \quad x_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j \in V$$

A função (1) é chamada função objetivo e representa a minimização do custo total de transporte das origens para os destinos. As demais funções que aparecem na formulação são as restrições do problema. A restrição (2) garante que o número total de unidades transportadas, a partir da fonte  $i$  para os destinos  $j$ ,  $j = 1, \dots, n$ , seja igual à capacidade de suprimento  $S_i$ . A restrição (3) garante que o número total de unidades transportadas para o destino  $j$ , a partir das origens  $i$ ,  $i = 1, \dots, m$ , seja igual a demanda  $D_j$  do destino. Por fim, a restrição (4) garante a não negatividade dos valores  $x_{ij}$ .

Para problemas de transporte em que todas as  $S_i$  e  $D_j$  são valores inteiros, as variáveis de decisão obtidas pelo algoritmo também serão valores inteiros (Hillier e Lieberman, 2013).

O montante ofertado (somatório das capacidades das fábricas) deve ser igualado ao total demandado (somatório das demandas dos centros consumidores). No caso de oferta maior que a demanda, pode-se introduzir um destino fantasma (*dummy*) que tenha os custos de transporte unitários de todas as fábricas para este destino iguais a zero e a demanda deste centro consumidor deve ser igual à diferença entre o total ofertado e o total demandado. No caso de demanda maior que oferta, pode-se introduzir uma fonte fantasma (*dummy*) que tenha os custos de transporte unitários para todos os destinos iguais a zero e uma capacidade igual à diferença entre o total demandando e o total ofertado. A inserção de variáveis do tipo *dummy* não é obrigatória, porém facilitam a interpretação do resultado da otimização.

Uma aplicação consagrada do Problema de transporte foi apresentado em 1997 pela revista *Interfaces* nas edições de janeiro e fevereiro. A empresa Procter

& Gamble possuía uma cadeia de suprimentos formada por centenas de fornecedores, mais de 50 categorias de produtos, 60 fábricas, 15 centros de distribuição e mais de 1000 zonas de atendimento a clientes. A direção entendeu a necessidade de reagrupar fábricas para reduzir despesas de fabricação, aumentar a velocidade de chegada ao mercado e reduzir o investimento de capital. O estudo se concentrou em redesenhar o sistema de distribuição e produção nos Estados Unidos. O resultado foi uma redução de cerca de 20% no número de fábricas no país, poupando mais de US\$200 milhões em custos por ano.

No Brasil, em 2011, um estudo do Problema de transporte, proporcionou uma redução de R\$16 milhões no transporte de ferro gusa na empresa MRS Logística S.A. Também em 2011, a União das Indústrias de Confeção de Catalão, em Goiás, reduziu em 11,26% o custo de transporte de produtos com a aplicação de um estudo envolvendo o Problema de transporte. No ano anterior, a Dália Alimentos, quinta maior empresa de agronegócios no país, com a condução de um estudo similar reduziu em 15,14% ao ano.

## CAPÍTULO III - METODOLOGIA

### 3. Metodologia

O presente trabalho teve início com a constatação da necessidade de se aplicar um estudo de Pesquisa Operacional para auxiliar a equipe de Planejamento e Controle da Produção da empresa alvo do estudo. A designação de linhas a entrar em produção assim como o volume de produção a ser coberto por cada uma delas é um processo decidido de forma subjetiva baseada apenas no conhecimento empírico de cada responsável, portanto, nenhum método científico é empregado nesse processo decisório vital para a empresa.

Realizou-se uma pesquisa bibliográfica sobre a utilização da Pesquisa Operacional no processo de tomada de decisão na indústria com foco maior no setor de beleza. Fez-se necessário um número elevado de reuniões com a equipe de Planejamento e Controle da Produção para esclarecimento da forma como era montado o planejamento e sequenciamento da produção.

A multinacional utilizada neste trabalho produz dois tipos de itens classificados em dois grandes grupos: coloração e *skincare*. Aqui, apenas os itens classificados como coloração serão estudados devido ao grande volume anual de demanda que supera o de *skincare* em 27%. Esse fato também implica em uma necessidade de acerto maior no uso dos recursos disponíveis, podendo resultar num ganho financeiro proporcionalmente maior.

O universo desta pesquisa é composto por 5 tipos de itens dentro do grande grupo de coloração que neste trabalho serão chamados de Coloração 1, Coloração 2, Coloração 3, Coloração 4 e Coloração 5, que podem ser produzidos em 7 linhas diferentes. No entanto, de acordo com a característica de cada equipamento, essas famílias são distribuídas por linhas específicas como explicado no Capítulo II.

Reuniões com a equipe de Gestão de Finanças também foram realizadas para coleta de dados orçamentários como o custo de produção de cada item em cada linha. O custo unitário de cada coloração em um determinado ano é definido

no mês de dezembro do ano anterior e seu valor é considerado fixo para todo o ano. Qualquer variação é absorvida pelo preço final atribuído ao produto pela equipe de marketing através de um aumento do preço de venda. A Tabela III abaixo mostra o custo total unitário de produção de cada item de acordo com a linha onde o mesmo é produzido.

Vale ressaltar que o custo total é a soma do custo direto e indireto. Gitman (2001) define esses tipos de custo como:

- Custo direto: pode ser diretamente apropriado aos produtos/serviços, bastando haver uma medida de consumo (quilogramas de materiais consumidos, embalagens utilizadas, horas de mão de obra utilizadas). Identificam-se geralmente com os produtos e variam proporcionalmente de acordo com a quantidade produzida.
- Custo indireto: aquele que contribui/suporte a produção, cuja apropriação não é feita diretamente necessitando da utilização de algum critério de rateio.

**Tabela III: Custo total unitário de produção por linha.**

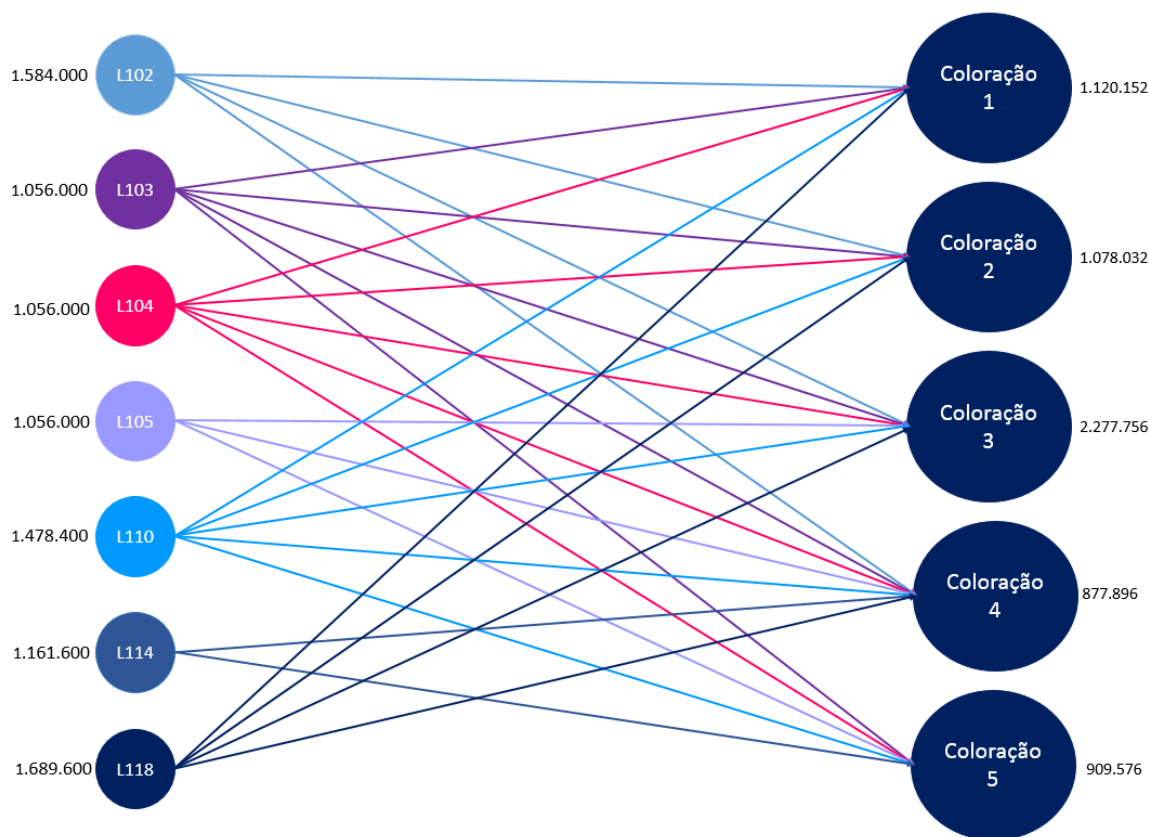
| Linhas | Tipos de coloração |             |             |             |             |
|--------|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|        | Coloração 1        | Coloração 2 | Coloração 3 | Coloração 4 | Coloração 5 |
| L102   | R\$ 2.15           | R\$ 2.12    | R\$ 2.86    | R\$ 1.64    |             |
| L103   | R\$ 2.19           | R\$ 2.16    | R\$ 2.90    | R\$ 1.68    | R\$ 2.92    |
| L104   | R\$ 2.19           | R\$ 2.16    | R\$ 2.90    | R\$ 1.68    | R\$ 2.92    |
| L105   |                    |             | R\$ 2.90    | R\$ 1.68    | R\$ 2.92    |
| L110   | R\$ 2.16           | R\$ 2.13    | R\$ 2.87    | R\$ 1.65    | R\$ 2.89    |
| L114   |                    |             |             | R\$ 1.65    | R\$ 2.82    |
| L118   | R\$ 2.17           | R\$ 2.14    | R\$ 2.88    | R\$ 1.66    |             |

Fonte: Elaboração própria.

Identificou-se que a melhor forma de resolver o problema de designação da produção por linhas, seria utilizando um problema clássico da Pesquisa Operacional: o Problema do Transporte (PT).

Montou-se uma rede (digrafo) com a representação das linhas sendo os pontos de origem (i) e cada um dos tipos de coloração, os pontos de destino (j) (Figura 3). A capacidade total de produção de cada linha vem descrita à esquerda e o volume demandado de cada coloração em Janeiro à direita. Em cada arco (i, j) do digrafo foi atribuído o valor que corresponde ao custo total unitário de produção de cada item de acordo com a linha onde o mesmo é produzido<sup>3</sup>. Esses dados foram obtidos através de reuniões com a equipe de Gestão financeira como já explicado anteriormente, e encontram-se na Tabela II.

**Figura 3: Digrafo representando a alocação de famílias de Coloração por linha em Janeiro.**



Fonte: Elaboração própria.

A capacidade produtiva mensal de cada linha de envase é constante independentemente do tipo de Coloração que ela é capaz de produzir. Atualmente

<sup>3</sup> Para facilitar a visualização, os valores nos arcos do digrafo foram omitidos.

o plano de produção é montado de acordo com a capacidade produtiva de cada linha (Tabela IV) levando em consideração a demanda prevista pela equipe de marketing (Tabela V).

**Tabela IV: Capacidade mensal por linha de produção.**

| Linhas | Capacidade produtiva mensal (unidades) |
|--------|----------------------------------------|
| L102   | 1.584.000                              |
| L103   | 1.056.000                              |
| L104   | 1.056.000                              |
| L105   | 1.056.000                              |
| L110   | 1.478.400                              |
| L114   | 1.161.600                              |
| L118   | 1.689.600                              |

Fonte: Elaboração própria.

**Tabela V: Demanda prevista de Jan a Nov/2016.**

|             | Jan       | Fev       | Mar       | Abr       | Mai       | Jun       | Jul       | Ago       | Set       | Out       | Nov       |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Coloração 1 | 1.120.152 | 1.049.634 | 1.141.404 | 1.230.720 | 1.079.124 | 1.066.788 | 717.810   | 583.740   | 812.490   | 836.334   | 895.440   |
| Coloração 2 | 1.078.032 | 1.077.864 | 1.209.384 | 1.002.696 | 873.600   | 812.580   | 783.108   | 585.696   | 1.276.140 | 767.376   | 1.001.724 |
| Coloração 3 | 2.277.756 | 1.887.456 | 1.900.332 | 1.501.260 | 1.498.056 | 921.756   | 1.093.092 | 1.075.872 | 1.200.600 | 1.150.476 | 1.131.696 |
| Coloração 4 | 877.896   | 776.304   | 958.524   | 1.473.685 | 710.256   | 592.842   | 736.710   | 520.758   | 823.854   | 587.970   | 567.576   |
| Coloração 5 | 909.576   | 339.264   | 172.872   | 208.008   | 283.608   | 365.904   | 291.888   | 403.056   | 322.344   | 352.512   | 299.592   |
| Total       | 6.263.412 | 5.130.522 | 5.382.516 | 5.416.369 | 4.444.644 | 3.759.870 | 3.622.608 | 3.169.122 | 4.435.428 | 3.694.668 | 3.896.028 |

Fonte: Elaboração própria.

Identificou-se as restrições do problema, definiu-se a função objetivo e propôs-se um modelo de resolução utilizando o Problema de transporte como ferramenta da Pesquisa Operacional.

De acordo com as características de cada estudo, uma técnica de resolução de problemas de otimização é aplicada. Elas podem ser heurísticas ou exatas. As heurísticas não garantem encontrar a solução ótima, porém obtêm uma solução próxima da ideal. No presente trabalho, o método de resolução utilizado foi o exato que garante encontrar a solução ótima.



O problema foi montado como um Problema de transporte e resolvido através da ferramenta Solver do software Microsoft Excel. Dentro da modelagem definiu-se a função objetivo minimizando os custos de produção, as restrições de demanda a serem atendidas e a capacidade produtiva mensal de cada linha de envase.

### 3.1. Modelagem do problema

O problema foi estruturado para cada mês, de Janeiro a Novembro dentro do programa Microsoft Excel. A Tabela VI abaixo mostra a estruturação para o mês de Janeiro.

**Tabela VI: Estruturação do problema para o mês de Janeiro.**

| Linhas          | Tipos de Coloração |             |             |             |             | Enviado | Capacidade |
|-----------------|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|------------|
|                 | Coloração 1        | Coloração 2 | Coloração 3 | Coloração 4 | Coloração 5 |         |            |
| L102            |                    |             |             |             |             | -       | 1.584.000  |
| L103            |                    |             |             |             |             | -       | 1.056.000  |
| L104            |                    |             |             |             |             | -       | 1.056.000  |
| L105            |                    |             |             |             |             | -       | 1.056.000  |
| L110            |                    |             |             |             |             | -       | 1.478.400  |
| L114            |                    |             |             |             |             | -       | 1.161.600  |
| L118            |                    |             |             |             |             | -       | 1.689.600  |
| <b>Recebido</b> | -                  | -           | -           | -           | -           |         |            |
| <b>Demanda</b>  | 1.120.152          | 1.078.032   | 2.277.756   | 877.896     | 909.576     |         |            |

Fonte: Elaboração própria.

Atribuiu-se um custo alto para as colorações que não podem ser produzidas em determinadas linhas. A função objetivo, as restrições de oferta e as de demanda foram inseridas dentro dos parâmetros do Solver como mostra a Figura 4.

Figura 4: Parâmetros do Solver.

The image shows the 'Solver Parameters' dialog box in Microsoft Excel. The title bar is 'Solver Parameters' with a close button (X) on the right. The dialog is divided into several sections:

- Set Objective:** A text box containing '\$L\$17' with a small icon to its right.
- To:** Three radio buttons: 'Max' (unselected), 'Min' (selected), and 'Value Of:' (unselected). To the right of 'Value Of:' is a text box containing '0'.
- By Changing Variable Cells:** A text box containing '\$C\$17:\$G\$23' with a small icon to its right.
- Subject to the Constraints:** A list box containing two constraints: '\$C\$24:\$G\$24 = \$C\$25:\$G\$25' and '\$H\$17:\$H\$23 <= \$I\$17:\$I\$23'. To the right of the list box are five buttons: 'Add', 'Change', 'Delete', 'Reset All', and 'Load/Save'.
- Make Unconstrained Variables Non-Negative:** A checkbox that is checked, with the text 'Make Unconstrained Variables Non-Negative' to its right.
- Select a Solving Method:** A dropdown menu showing 'Simplex LP'. To its right is an 'Options' button.
- Solving Method:** A text box containing the following text: 'Select the GRG Nonlinear engine for Solver Problems that are smooth nonlinear. Select the LP Simplex engine for linear Solver Problems, and select the Evolutionary engine for Solver problems that are non-smooth.'

At the bottom of the dialog are three buttons: 'Help', 'Solve' (highlighted with a blue border), and 'Close'.

Fonte: Elaboração própria.

## CAPÍTULO IV - RESULTADOS

### 4. Resultados

Ao executar a ferramenta Solver do Microsoft Excel mês a mês, o próprio programa preenche a tabela com a distribuição ótima dos produtos mostrando o custo total de produção. A Tabela VII mostra a solução ótima para Janeiro. As soluções para os demais meses encontram-se no Anexo.

**Tabela VII: Solução ótima de distribuição para Janeiro.**

| Linhas          | Tipos de Coloração |             |             |             |             | Enviado   | Capacidade |
|-----------------|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|------------|
|                 | Coloração 1        | Coloração 2 | Coloração 3 | Coloração 4 | Coloração 5 |           |            |
| L102            | -                  | -           | 1.584.000   | -           | -           | 1.584.000 | 1.584.000  |
| L103            | -                  | -           | 349.812     | -           | -           | 349.812   | 1.056.000  |
| L104            | -                  | -           | -           | -           | -           | -         | 1.056.000  |
| L105            | -                  | -           | -           | -           | -           | -         | 1.056.000  |
| L110            | -                  | 1.078.032   | -           | 400.368     | -           | 1.478.400 | 1.478.400  |
| L114            | -                  | -           | -           | 252.024     | 909.576     | 1.161.600 | 1.161.600  |
| L118            | 1.120.152          | -           | 343.944     | 225.504     | -           | 1.689.600 | 1.689.600  |
| <b>Recebido</b> | 1.120.152          | 1.078.032   | 2.277.756   | 877.896     | 909.576     |           |            |
| <b>Demanda</b>  | 1.120.152          | 1.078.032   | 2.277.756   | 877.896     | 909.576     |           |            |

**Custo total:** R\$ 15.281.949,84

Fonte: Elaboração própria.

Considerando  $x_{ij}$  como as variáveis de decisão que representam a quantidade que a linha  $i$  vai produzir da coloração  $j$  com  $i = 1$  (L102), 2 (L103), 3 (L104),...,7 (L118) e  $j = 1$  (Coloração 1), 2 (Coloração 2),..., 5 (Coloração 5), e como as linhas não necessariamente precisam produzir sua capacidade máxima mensal porém a quantidade demandada precisa ser atingida, a modelagem matemática do problema para o mês de Janeiro é a seguinte:

Função objetivo:

$$\begin{aligned} \text{Min } z: & 2,15x_{11} + 2,12x_{12} + 2,86x_{13} + 1,64x_{14} + 100x_{15} + 2,19x_{21} + 2,16x_{22} + \\ & 2,90x_{23} + 1,68x_{24} + 2,92x_{25} + 2,19x_{31} + 2,16x_{32} + 2,90x_{33} + 1,68x_{34} + 2,92x_{35} + \\ & 100x_{41} + 100x_{42} + 2,90x_{43} + 1,68x_{44} + 2,92x_{45} + 2,16x_{51} + 2,13x_{52} + 2,87x_{53} + \\ & 1,65x_{54} + 2,89x_{55} + 100x_{61} + 100x_{62} + 100x_{63} + 1,65x_{64} + 2,82x_{65} + 2,17x_{71} + 2,14x_{72} \\ & + 2,88x_{73} + 1,66x_{74} + 100x_{75} \end{aligned}$$

Sujeito a:

Restrição de capacidade das linhas:

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} \leq 1.584.000$$

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} \leq 1.056.000$$

$$x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} + x_{35} \leq 1.056.000$$

$$x_{41} + x_{42} + x_{43} + x_{44} + x_{45} \leq 1.056.000$$

$$x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54} + x_{55} \leq 1.478.400$$

$$x_{61} + x_{62} + x_{63} + x_{64} + x_{65} \leq 1.161.600$$

$$x_{71} + x_{72} + x_{73} + x_{74} + x_{75} \leq 1.689.600$$

Restrição de demanda das colorações:

$$x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} + x_{51} + x_{61} + x_{71} = 1.120.152$$

$$x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} + x_{52} + x_{62} + x_{72} = 1.078.032$$

$$x_{13} + x_{23} + x_{33} + x_{43} + x_{53} + x_{63} + x_{73} = 2.277.756$$

$$x_{14} + x_{24} + x_{34} + x_{44} + x_{54} + x_{64} + x_{74} = 877.896$$

$$x_{15} + x_{25} + x_{35} + x_{45} + x_{55} + x_{65} + x_{75} = 909.576$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j \in V$$

O custo total de produção com a distribuição ótima de Janeiro a Novembro utilizando a ferramenta Solver através da formulação do cenário como um Problema de transporte foi de R\$115.175.950,83. Enquanto o custo total analisando o histórico de distribuição feito pela equipe de Planejamento e controle da Produção foi de R\$159.749.043,80, o que representa uma redução de 38,1% no custo de produção total em 11 meses (Tabela VIII). Elaborou-se um modelo com variáveis *dummy* e o resultado obtido foi o mesmo.

**Tabela VIII: Comparativo de custo sem e com a aplicação da PO.**

| Mês          | Custo                     |                           |                          |
|--------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
|              | Sem aplicação da PO       | Com aplicação da PO       | Provável economia        |
| Janeiro      | R\$ 21.096.064,43         | R\$ 15.281.949,84         | R\$ 5.814.114,59         |
| Fevereiro    | R\$ 14.940.275,13         | R\$ 12.213.608,60         | R\$ 2.726.666,53         |
| Março        | R\$ 1.5425.266,21         | R\$ 12.563.277,73         | R\$ 2.861.988,48         |
| Abril        | R\$ 18.810.110,51         | R\$ 12.119.762,45         | R\$ 6.690.348,07         |
| Maio         | R\$ 11.954.181,04         | R\$ 10.421.183,16         | R\$ 1.532.997,88         |
| Junho        | R\$ 13.531.803,05         | R\$ 8.674.695,78          | R\$ 4.857.107,27         |
| Julho        | R\$ 12.721.006,32         | R\$ 8.378.519,34          | R\$ 4.342.486,98         |
| Agosto       | R\$ 10.308.178,50         | R\$ 7.576.192,14          | R\$ 2.731.986,36         |
| Setembro     | R\$ 14.611.628,06         | R\$ 10.174.209,13         | R\$ 4.437.418,93         |
| Outubro      | R\$ 13.754.867,61         | R\$ 8.691.252,78          | R\$ 5.063.614,83         |
| Novembro     | R\$ 12.595.662,93         | R\$ 9.081.299,88          | R\$ 3.514.363,05         |
| <b>Total</b> | <b>R\$ 159.749.043,80</b> | <b>R\$ 115.175.950,83</b> | <b>R\$ 44.573.092,97</b> |

Fonte: Elaboração própria.

Além de preencher a tabela com a distribuição ótima, o Solver ainda gera dois tipos de relatórios contendo informações importantes para uma possível análise dos tomadores de decisão. Os parâmetros do Solver podem ser vistos no primeiro deles, o Relatório de Respostas (Figura 5). O programa utilizou o mecanismo simplex e demorou 0,11 segundos para encontrar a solução ótima para o mês de Janeiro depois de 22 iterações. Na parte relativa às células variáveis é mostrado os resultados obtidos para cada variável considerando todas as restrições: 1.584.000 unidades de Coloração 3 na linha 102 e 349.812 unidades de Coloração 3 na linha 103, por exemplo. Na parte relativa às restrições vemos que aquelas especificadas como não-associação deixam explícito que a

capacidade da linha não foi plenamente atingida e a coluna mais à direita mostra a quantidade denominada folga. Ou seja, a linha L103 tem capacidade de produzir 1.056.000 unidades porém em janeiro produzirá apenas 349.812, ficando com uma folga correspondente a 706.188 bisnagas de coloração.

**Figura 5: Relatório de Respostas gerado pelo Solver.**

|                                                                                                                        |           |                  |                   |         |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------|-------------------|---------|--|
| Microsoft Excel 14.0 Relatório de Respostas                                                                            |           |                  |                   |         |  |
| Planilha: [Formulacao.xls]Tabelas individuais                                                                          |           |                  |                   |         |  |
| Relatório Criado: 10/01/2017 19:39:02                                                                                  |           |                  |                   |         |  |
| Resultado: O Solver encontrou uma solução. Todas as Restrições e condições de adequação foram satisfeitas.             |           |                  |                   |         |  |
| Mecanismo do Solver                                                                                                    |           |                  |                   |         |  |
| Mecanismo: LP Simplex                                                                                                  |           |                  |                   |         |  |
| Tempo da Solução: 0,11 Segundos.                                                                                       |           |                  |                   |         |  |
| Iterações: 22 Subproblemas: 0                                                                                          |           |                  |                   |         |  |
| Opções do Solver                                                                                                       |           |                  |                   |         |  |
| Tempo Máx. Ilimitado, Iterações Ilimitado, Precision 0,000001                                                          |           |                  |                   |         |  |
| Subproblemas Máx. Ilimitado, Soluç. Máx. Núm. Inteiro Ilimitado, Tolerância de Número Inteiro 1%, Assumir Não Negativo |           |                  |                   |         |  |
| Célula do Objetivo (Mín.)                                                                                              |           |                  |                   |         |  |
|                                                                                                                        |           |                  |                   |         |  |
| \$M\$14 Custo total:                                                                                                   |           | R\$ 0.00         | R\$ 15,281,949.84 |         |  |
| Células Variáveis                                                                                                      |           |                  |                   |         |  |
|                                                                                                                        |           |                  |                   |         |  |
| \$C\$16 L102 Coloração 1                                                                                               | -         | -                | Conting.          |         |  |
| \$D\$16 L102 Coloração 2                                                                                               | -         | -                | Conting.          |         |  |
| \$E\$16 L102 Coloração 3                                                                                               | -         | 1,584,000        | Conting.          |         |  |
| \$F\$16 L102 Coloração 4                                                                                               | -         | -                | Conting.          |         |  |
| \$G\$16 L102 Coloração 5                                                                                               | -         | -                | Conting.          |         |  |
| \$C\$17 L103 Coloração 1                                                                                               | -         | -                | Conting.          |         |  |
| \$D\$17 L103 Coloração 2                                                                                               | -         | -                | Conting.          |         |  |
| \$E\$17 L103 Coloração 3                                                                                               | -         | 349,812          | Conting.          |         |  |
| \$F\$17 L103 Coloração 4                                                                                               | -         | -                | Conting.          |         |  |
| \$G\$17 L103 Coloração 5                                                                                               | -         | -                | Conting.          |         |  |
| \$C\$18 L104 Coloração 1                                                                                               | -         | -                | Conting.          |         |  |
| \$D\$18 L104 Coloração 2                                                                                               | -         | -                | Conting.          |         |  |
| \$E\$18 L104 Coloração 3                                                                                               | -         | -                | Conting.          |         |  |
| \$F\$18 L104 Coloração 4                                                                                               | -         | -                | Conting.          |         |  |
| \$G\$18 L104 Coloração 5                                                                                               | -         | -                | Conting.          |         |  |
| \$C\$19 L105 Coloração 1                                                                                               | -         | -                | Conting.          |         |  |
| \$D\$19 L105 Coloração 2                                                                                               | -         | -                | Conting.          |         |  |
| \$E\$19 L105 Coloração 3                                                                                               | -         | -                | Conting.          |         |  |
| \$F\$19 L105 Coloração 4                                                                                               | -         | -                | Conting.          |         |  |
| \$G\$19 L105 Coloração 5                                                                                               | -         | -                | Conting.          |         |  |
| \$C\$20 L110 Coloração 1                                                                                               | -         | -                | Conting.          |         |  |
| \$D\$20 L110 Coloração 2                                                                                               | -         | 1,078,032        | Conting.          |         |  |
| \$E\$20 L110 Coloração 3                                                                                               | -         | -                | Conting.          |         |  |
| \$F\$20 L110 Coloração 4                                                                                               | -         | 400,368          | Conting.          |         |  |
| \$G\$20 L110 Coloração 5                                                                                               | -         | -                | Conting.          |         |  |
| \$C\$21 L114 Coloração 1                                                                                               | -         | -                | Conting.          |         |  |
| \$D\$21 L114 Coloração 2                                                                                               | -         | -                | Conting.          |         |  |
| \$E\$21 L114 Coloração 3                                                                                               | -         | -                | Conting.          |         |  |
| \$F\$21 L114 Coloração 4                                                                                               | -         | 252,024          | Conting.          |         |  |
| \$G\$21 L114 Coloração 5                                                                                               | -         | 909,576          | Conting.          |         |  |
| \$C\$22 L118 Coloração 1                                                                                               | -         | 1,120,152        | Conting.          |         |  |
| \$D\$22 L118 Coloração 2                                                                                               | -         | -                | Conting.          |         |  |
| \$E\$22 L118 Coloração 3                                                                                               | -         | 343,944          | Conting.          |         |  |
| \$F\$22 L118 Coloração 4                                                                                               | -         | 225,504          | Conting.          |         |  |
| \$G\$22 L118 Coloração 5                                                                                               | -         | -                | Conting.          |         |  |
| Restrições                                                                                                             |           |                  |                   |         |  |
|                                                                                                                        |           |                  |                   |         |  |
| \$C\$23 Recebido Coloração 1                                                                                           | 1,120,152 | \$C\$23=\$C\$24  | Associação        | 0       |  |
| \$D\$23 Recebido Coloração 2                                                                                           | 1,078,032 | \$D\$23=\$D\$24  | Associação        | 0       |  |
| \$E\$23 Recebido Coloração 3                                                                                           | 2,277,756 | \$E\$23=\$E\$24  | Associação        | 0       |  |
| \$F\$23 Recebido Coloração 4                                                                                           | 877,896   | \$F\$23=\$F\$24  | Associação        | 0       |  |
| \$G\$23 Recebido Coloração 5                                                                                           | 909,576   | \$G\$23=\$G\$24  | Associação        | 0       |  |
| \$H\$16 L102 Enviado                                                                                                   | 1,584,000 | \$H\$16<=\$I\$16 | Associação        | 0       |  |
| \$H\$17 L103 Enviado                                                                                                   | 349,812   | \$H\$17<=\$I\$17 | Não-associação    | 706188  |  |
| \$H\$18 L104 Enviado                                                                                                   | -         | \$H\$18<=\$I\$18 | Não-associação    | 1056000 |  |
| \$H\$19 L105 Enviado                                                                                                   | -         | \$H\$19<=\$I\$19 | Não-associação    | 1056000 |  |
| \$H\$20 L110 Enviado                                                                                                   | 1,478,400 | \$H\$20<=\$I\$20 | Associação        | 0       |  |
| \$H\$21 L114 Enviado                                                                                                   | 1,161,600 | \$H\$21<=\$I\$21 | Associação        | 0       |  |
| \$H\$22 L118 Enviado                                                                                                   | 1,689,600 | \$H\$22<=\$I\$22 | Associação        | 0       |  |

Fonte: Elaboração própria.

O segundo é o Relatório de Sensibilidade (Figura 6) que permite a análise de cenários através da solução ótima e do preço sombra. Na parte relativa às células variáveis, os resultados obtidos são mostrados assim como o coeficiente na função objetivo e o intervalo de redução de custo para cada combinação de linha e tipo de coloração. Pode-se verificar, por exemplo, que a linha L114 não produzirá a Coloração 1 porque isso causaria um aumento de R\$7,84 por unidade no valor da função objetivo.

Já na parte relativa às restrições, é possível analisar o preço sombra. O preço sombra é um indicador que permite avaliar o impacto que o aumento de uma unidade de cada recurso pode causar na função objetivo. O aumento na capacidade da linha L102, por exemplo, em uma unidade, reduziria o custo em R\$0,04.

As colunas Permitido aumentar e Permitido reduzir delimitam o intervalo de volume máximo e mínimo em capacidade para o qual o preço sombra se mantém constante. Ainda analisando a L102, um aumento em até 349.812 unidades causaria um impacto financeiro no custo total de R\$13.992,48, enquanto uma redução de até 706.188 unidades causaria um impacto de R\$28.247,52.



**Figura 6: Relatório de Sensibilidade gerado pelo Solver.**

| Microsoft Excel 14.0 Relatório de Sensibilidade |                      |             |                |                        |                    |                   |
|-------------------------------------------------|----------------------|-------------|----------------|------------------------|--------------------|-------------------|
| Planilha: [Formulacao.xls]Tabelas individuais   |                      |             |                |                        |                    |                   |
| Relatório Criado: 10/01/2017 19:39:03           |                      |             |                |                        |                    |                   |
| Células Variáveis                               |                      |             |                |                        |                    |                   |
| Célula                                          | Nome                 | Final Valor | Reduzido Custo | Objetivo Coeficiente   | Permitido Aumentar | Permitido Reduzir |
| \$C\$16                                         | L102 Coloração 1     | 0           | 7.10543E-15    | 2.15                   | 1E+30              | 7.10543E-15       |
| \$D\$16                                         | L102 Coloração 2     | 0           | 8.88178E-15    | 2.12                   | 1E+30              | 8.88178E-15       |
| \$E\$16                                         | L102 Coloração 3     | 1584000     | 0              | 2.86                   | 0                  | 1E+30             |
| \$F\$16                                         | L102 Coloração 4     | 0           | 0              | 1.64                   | 1E+30              | 0                 |
| \$G\$16                                         | L102 Coloração 5     | 0           | 7.19           | 10                     | 1E+30              | 7.19              |
| \$C\$17                                         | L103 Coloração 1     | 0           | 1.06581E-14    | 2.19                   | 1E+30              | 1.06581E-14       |
| \$D\$17                                         | L103 Coloração 2     | 0           | 1.06581E-14    | 2.16                   | 1E+30              | 1.06581E-14       |
| \$E\$17                                         | L103 Coloração 3     | 349812      | 0              | 2.9                    | 0                  | 0.01765           |
| \$F\$17                                         | L103 Coloração 4     | 0           | 0              | 1.68                   | 1E+30              | 0                 |
| \$G\$17                                         | L103 Coloração 5     | 0           | 0.07           | 2.92                   | 1E+30              | 0.07              |
| \$C\$18                                         | L104 Coloração 1     | 0           | 7.10543E-15    | 2.19                   | 1E+30              | 7.10543E-15       |
| \$D\$18                                         | L104 Coloração 2     | 0           | 1.42109E-14    | 2.16                   | 1E+30              | 1.42109E-14       |
| \$E\$18                                         | L104 Coloração 3     | 0           | 0              | 2.9                    | 1E+30              | 0                 |
| \$F\$18                                         | L104 Coloração 4     | 0           | 0              | 1.68                   | 1E+30              | 0                 |
| \$G\$18                                         | L104 Coloração 5     | 0           | 0.07           | 2.92                   | 1E+30              | 0.07              |
| \$C\$19                                         | L105 Coloração 1     | 0           | 7.81           | 10                     | 1E+30              | 7.81              |
| \$D\$19                                         | L105 Coloração 2     | 0           | 7.84           | 10                     | 1E+30              | 7.84              |
| \$E\$19                                         | L105 Coloração 3     | 0           | 7.10543E-15    | 2.9                    | 1E+30              | 7.10543E-15       |
| \$F\$19                                         | L105 Coloração 4     | 0           | 7.10543E-15    | 1.68                   | 1E+30              | 7.10543E-15       |
| \$G\$19                                         | L105 Coloração 5     | 0           | 0.07           | 2.92                   | 1E+30              | 0.07              |
| \$C\$20                                         | L110 Coloração 1     | 0           | 0              | 2.16                   | 1E+30              | 0                 |
| \$D\$20                                         | L110 Coloração 2     | 1078032     | 0              | 2.13                   | 0                  | 1E+30             |
| \$E\$20                                         | L110 Coloração 3     | 0           | 0              | 2.87                   | 1E+30              | 0                 |
| \$F\$20                                         | L110 Coloração 4     | 400368      | 0              | 1.65                   | 0                  | 0                 |
| \$G\$20                                         | L110 Coloração 5     | 0           | 0.07           | 2.89                   | 1E+30              | 0.07              |
| \$C\$21                                         | L114 Coloração 1     | 0           | 7.84           | 10                     | 1E+30              | 7.84              |
| \$D\$21                                         | L114 Coloração 2     | 0           | 7.87           | 10                     | 1E+30              | 7.87              |
| \$E\$21                                         | L114 Coloração 3     | 0           | 7.13           | 10                     | 1E+30              | 7.13              |
| \$F\$21                                         | L114 Coloração 4     | 252024      | 0              | 1.65                   | 0.03               | 0.07              |
| \$G\$21                                         | L114 Coloração 5     | 909576      | 0              | 2.82                   | 0.07               | 1E+30             |
| \$C\$22                                         | L118 Coloração 1     | 1120152     | 0              | 2.17235                | 0                  | 1E+30             |
| \$D\$22                                         | L118 Coloração 2     | 0           | 0              | 2.14235                | 1E+30              | 0                 |
| \$E\$22                                         | L118 Coloração 3     | 343944      | 0              | 2.88235                | 0                  | 0                 |
| \$F\$22                                         | L118 Coloração 4     | 225504      | 0              | 1.66235                | 0                  | 0                 |
| \$G\$22                                         | L118 Coloração 5     | 0           | 7.16765        | 10                     | 1E+30              | 7.16765           |
| Restrições                                      |                      |             |                |                        |                    |                   |
| Célula                                          | Nome                 | Final Valor | Sombra Preço   | Restrição Lateral R.H. | Permitido Aumentar | Permitido Reduzir |
| \$C\$23                                         | Recebido Coloração 1 | 1120152     | 2.19           | 1120152                | 343944             | 349812            |
| \$D\$23                                         | Recebido Coloração 2 | 1078032     | 2.16           | 1078032                | 343944             | 225504            |
| \$E\$23                                         | Recebido Coloração 3 | 2277756     | 2.9            | 2277756                | 706188             | 349812            |
| \$F\$23                                         | Recebido Coloração 4 | 877896      | 1.68           | 877896                 | 343944             | 225504            |
| \$G\$23                                         | Recebido Coloração 5 | 909576      | 2.85           | 909576                 | 252024             | 225504            |
| \$H\$16                                         | L102 Enviado         | 1584000     | -0.04          | 1584000                | 349812             | 706188            |
| \$H\$17                                         | L103 Enviado         | 349812      | 0              | 1056000                | 1E+30              | 706188            |
| \$H\$18                                         | L104 Enviado         | 0           | 0              | 1056000                | 1E+30              | 1056000           |
| \$H\$19                                         | L105 Enviado         | 0           | 0              | 1056000                | 1E+30              | 1056000           |
| \$H\$20                                         | L110 Enviado         | 1478400     | -0.03          | 1478400                | 225504             | 343944            |
| \$H\$21                                         | L114 Enviado         | 1161600     | -0.03          | 1161600                | 225504             | 252024            |
| \$H\$22                                         | L118 Enviado         | 1689600     | -0.01765       | 1689600                | 349812             | 343944            |

Fonte: Elaboração própria.

## **CAPÍTULO V - CONCLUSÃO**

### **5. Conclusões**

#### **5.1. Considerações finais**

O objetivo proposto no presente trabalho foi determinar a programação da produção e distribuição de produtos classificados como coloração por linhas de envase através das ferramentas da Pesquisa Operacional para uma empresa multinacional do setor de beleza.

Uma pesquisa bibliográfica sobre a utilização da Pesquisa Operacional no processo de tomada de decisão foi realizada e um número elevado de reuniões com as equipes de diversos setores da empresa utilizada como foco de estudo nesse trabalho foi necessário para esclarecimento da forma como era montado o planejamento e sequenciamento da produção.

Utilizou-se um modelo de Programação Linear denominado Problema do transporte para que o objetivo específico de redução de custos fosse atingido. A ferramenta Solver do *software* Microsoft Excel foi utilizada para encontrar a solução para o problema proposto.

11 meses do ano de 2016 foram analisados e os resultados obtidos demonstram a importância da utilização da Pesquisa Operacional no processo de tomada de decisão.

#### **5.2. Sugestões para próximos estudos**

Um dos maiores obstáculos para a elaboração deste trabalho foi entender o processo de tomada de decisão e o fluxo de informação, o que mostra o quanto é importante para uma organização ter seus processos mapeados e bem estruturados.

Como sugestão para estudos futuros, realizar a mesma análise e formulação para as famílias de skincare, um estudo anual do impacto de cada decisão tomada baseada em ferramentas da Pesquisa Operacional e aplicação

em outras áreas da empresa como paradas de linha para manutenção e controle de movimentação de matéria-prima.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANAIS DOS SIMPÓSIOS BRASILEIROS DE PESQUISA OPERACIONAL, de 2002 a 2014 Disponível em <<http://www.din.uem.br/sbpo/>>. Acesso em 7 jul. 2016.

AMORIM, C. P. V.; MONTEIRO, L. E. C.; RIBAS, P. C. **Otimização de recursos para maximizar os lucros em uma fábrica de cerveja: utilização da Pesquisa Operacional para o encontro de valores ótimos de produção.** In: XVIII Simpósio de Pesquisa Operacional & Logística da Marinha (XVIII SPOLM), 2015, Rio de Janeiro. Anais do XVIII SPOLM, 2015.

ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. **Pesquisa Operacional para cursos de Engenharia.** São Paulo: Campus, 2015.

BAÍDYA, T. K. N.; AIUBE, F. A. L.; MENDES, M. R. C. **Introdução à Microeconomia.** São Paulo: Atlas, 1999.

BARRA, C. A. 2008. **Otimização do processo de distribuição de locomotivas.** Trabalho de Graduação. Universidade Federal de Juiz de Fora. 52p.

BELFIORE, P.; FÁVERO, L. P. **Pesquisa Operacional para cursos de Engenharia.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

BONIFÁCIO, A. S.; ALMEIDA, D. M.; SEIBLITZ, D. M. L. **Aplicações da Pesquisa Operacional nos setores criativos e do entretenimento.** In: IV Encontro de Engenharia do Entretenimento, 2016, Rio de Janeiro.

BUSS, T. 2009. **Alocação de frota através da minimização dos custos de transporte utilizando Programação Linear.** Trabalho de Graduação. Universidade Federal de Santa Catarina. 54p.

COLIN, E. C. **Pesquisa Operacional**. LTC, 2007.

FERREIRA, F. M.; BACHEGA, S. J. **Programação Linear: Um estudo de caso sobre os custos de transporte em uma empresa do setor de confecções de Catalão-GO**. In: XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção (XXXI ENEGEP), 2011, Belo Horizonte. Anais do XXXI ENEGEP, 2011.

FURTADO, M. G. S.; VERGINE, E.; CAMARGO, V. C. B.; TOLEDO, F. M. B. **Um modelo para o problema de planejamento da produção de pedidos em fundições de pequeno porte**. In: XLIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (XLIII SBPO), 2011, São Paulo. Anais do XLIII SBPO, 2011.

GAZETA DO POVO (Paraná). **Ano ruim desafia mercado de beleza em 2016. 2016**. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/economia/ano-ruim-desafia-mercado-de-beleza-em-2016-co75gmjqo3pm826927eho66za>>. Acesso em 30 mar. 2016.

GITMSN, L. J. **Princípios de administração financeira**. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

HILLIER, F.S.; LIEBERMAN, G.J. **Introdução à pesquisa operacional**. 9. ed. Porto Alegre: McGraw-Hill, 2013.

JAENSCH, D. VOLPI, N. M. P. **Adaptação do modelo de transporte para utilizar no planejamento da produção considerando múltiplos recursos e famílias de itens**. In: XVIII Simpósio de Pesquisa Operacional & Logística da Marinha (XVIII SPOLM), 2015, Rio de Janeiro. Anais do XVIII SPOLM, 2015.

LACHTERMACHER, G. **Pesquisa Operacional na tomada de decisões**. 1. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2002.

O GLOBO (Rio de Janeiro). **Indústria da beleza tem primeira queda de vendas em mais de 20 anos.** 2016. Disponível em: <<http://g1.globo.com/bom-dia-brasil/noticia/2016/01/industria-da-beleza-tem-primeira-queda-de-vendas-em-mais-de-20-anos.html>>. Acesso em 12 fev. 2016.

RUESTA, C.; OHISHI, T.; OLIVEIRA, J. R. **Um modelo de planejamento da produção de uma indústria pesqueira.** In: XLIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (XLIII SBPO), 2011, São Paulo. Anais do XLIII SBPO, 2011.

SAITO, M. M. 2007. **Determinação do plano de produção ótimo para uma indústria de laticínios.** Trabalho de Graduação. Universidade Federal de Juiz de Fora. 63p.

SILVA, E. M.; SILVA, E. M.; GONÇALVES, V.; MUROLO, A. C. **Pesquisa Operacional: Programação linear.** 3 ed. São Paulo: Atlas, 1998.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE PESQUISA OPERACIONAL. **Sobre a SOBRAPO.** Disponível em <<http://www.sobrapo.org.br/>>. Acesso em 9 jan. 2016.

SOUZA, D; REHFELDT, M. J. H. **Alocação de veículos de transporte em um estudo de caso numa empresa de alimentos do Vale do Taquari.** In: Revista Destaques Acadêmicos Univates. Disponível em: <<http://www.univates.br/revistas/index.php/destaques/article/view/212/0>>. Acesso em 23 dez. 2016.

TAHA, H. A. **Pesquisa Operacional.** 8. ed. Prentice Hall, 2008.

TEIXEIRA, V. G. 2011. **Aplicação de Programação Linear na alocação de vagões gôndola para o transporte de ferro gusa na MRS Logística S.A.** Trabalho de Graduação. Universidade Federal de Juiz de Fora. 56p.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 9 ed. São Paulo: Atlas, 2007.

WAGNER, H. M. **Pesquisa Operacional**. 2.ed. Prentice Hall do Brasil, 1986.

## ANEXO - Solução ótima de distribuição de Fevereiro a Novembro de 2016

| FEVEREIRO/2016      |                    |             |                          |             |             |           |            |
|---------------------|--------------------|-------------|--------------------------|-------------|-------------|-----------|------------|
| Linhas              | Tipos de Coloração |             |                          |             |             | Enviado   | Capacidade |
|                     | Coloração 1        | Coloração 2 | Coloração 3              | Coloração 4 | Coloração 5 |           |            |
| L102                | 1.049.634          | -           | 534.366                  | -           | -           | 1.584.000 | 1.584.000  |
| L103                | -                  | -           | -                        | -           | -           | -         | 1.056.000  |
| L104                | -                  | -           | -                        | -           | -           | -         | 1.056.000  |
| L105                | -                  | -           | -                        | -           | -           | -         | 1.056.000  |
| L110                | -                  | 1.077.864   | 400.536                  | -           | -           | 1.478.400 | 1.478.400  |
| L114                | -                  | -           | -                        | 776.304     | 339.264     | 1.115.568 | 1.161.600  |
| L118                | -                  | -           | 952.554                  | -           | -           | 952.554   | 1.689.600  |
| <b>Recebido</b>     | 1.049.634          | 1.077.864   | 1.887.456                | 776.304     | 339.264     |           |            |
| <b>Demanda</b>      | 1.049.634          | 1.077.864   | 1.887.456                | 776.304     | 339.264     |           |            |
| <b>Custo total:</b> |                    |             | <b>R\$ 12.213.608,60</b> |             |             |           |            |

| MARÇO/2016          |                    |             |                          |             |             |           |            |
|---------------------|--------------------|-------------|--------------------------|-------------|-------------|-----------|------------|
| Linhas              | Tipos de Coloração |             |                          |             |             | Enviado   | Capacidade |
|                     | Coloração 1        | Coloração 2 | Coloração 3              | Coloração 4 | Coloração 5 |           |            |
| L102                | 1.141.404          | -           | 442.596                  | -           | -           | 1.584.000 | 1.584.000  |
| L103                | -                  | -           | -                        | -           | -           | -         | 1.056.000  |
| L104                | -                  | -           | -                        | -           | -           | -         | 1.056.000  |
| L105                | -                  | -           | -                        | -           | -           | -         | 1.056.000  |
| L110                | -                  | 1.209.384   | 269.016                  | -           | -           | 1.478.400 | 1.478.400  |
| L114                | -                  | -           | -                        | 958.524     | 172.872     | 1.131.396 | 1.161.600  |
| L118                | -                  | -           | 1.188.720                | -           | -           | 1.188.720 | 1.689.600  |
| <b>Recebido</b>     | 1.141.404          | 1.209.384   | 1.900.332                | 958.524     | 172.872     |           |            |
| <b>Demanda</b>      | 1.141.404          | 1.209.384   | 1.900.332                | 958.524     | 172.872     |           |            |
| <b>Custo total:</b> |                    |             | <b>R\$ 12.563.277,73</b> |             |             |           |            |

| ABRIL/2016          |                    |             |                          |             |             |           |            |
|---------------------|--------------------|-------------|--------------------------|-------------|-------------|-----------|------------|
| Linhas              | Tipos de Coloração |             |                          |             |             | Enviado   | Capacidade |
|                     | Coloração 1        | Coloração 2 | Coloração 3              | Coloração 4 | Coloração 5 |           |            |
| L102                | 1.230.720          | 353.280     | -                        | -           | -           | 1.584.000 | 1.584.000  |
| L103                | -                  | -           | -                        | -           | -           | -         | 1.056.000  |
| L104                | -                  | -           | -                        | -           | -           | -         | 1.056.000  |
| L105                | -                  | -           | -                        | -           | -           | -         | 1.056.000  |
| L110                | -                  | -           | 958.307                  | 520.093     | -           | 1.478.400 | 1.478.400  |
| L114                | -                  | -           | -                        | 953.592     | 208.008     | 1.161.600 | 1.161.600  |
| L118                | -                  | 649.416     | 542.953                  | -           | -           | 1.192.369 | 1.689.600  |
| <b>Recebido</b>     | 1.230.720          | 1.002.696   | 1.501.260                | 1.473.685   | 208.008     |           |            |
| <b>Demanda</b>      | 1.230.720          | 1.002.696   | 1.501.260                | 1.473.685   | 208.008     |           |            |
| <b>Custo total:</b> |                    |             | <b>R\$ 12.119.762,45</b> |             |             |           |            |



## MAIO/2016

| Tipos de Coloração |             |             |                   |             |             |           |            |
|--------------------|-------------|-------------|-------------------|-------------|-------------|-----------|------------|
| Linhas             | Coloração 1 | Coloração 2 | Coloração 3       | Coloração 4 | Coloração 5 | Enviado   | Capacidade |
| L102               | 1.079.124   | 873.600     | 1.498.056         | 710.256     | -           | 4.161.036 | 1.584.000  |
| L103               | -           | -           | -                 | -           | -           | -         | 1.056.000  |
| L104               | -           | -           | -                 | -           | -           | -         | 1.056.000  |
| L105               | -           | -           | -                 | -           | -           | -         | 1.056.000  |
| L110               | -           | -           | -                 | -           | -           | -         | 1.478.400  |
| L114               | -           | -           | -                 | -           | 283.608     | 283.608   | 1.161.600  |
| L118               | -           | -           | -                 | -           | -           | -         | 1.689.600  |
| Recebido           | 1.079.124   | 873.600     | 1.498.056         | 710.256     | 283.608     |           |            |
| Demanda            | 1.079.124   | 873.600     | 1.498.056         | 710.256     | 283.608     |           |            |
| Custo total:       |             |             | R\$ 10.421.183,16 |             |             |           |            |

## JUNHO/2016

| Tipos de Coloração |             |             |                  |             |             |           |            |
|--------------------|-------------|-------------|------------------|-------------|-------------|-----------|------------|
| Linhas             | Coloração 1 | Coloração 2 | Coloração 3      | Coloração 4 | Coloração 5 | Enviado   | Capacidade |
| L102               | 662.244     | -           | 921.756          | -           | -           | 1.584.000 | 1.584.000  |
| L103               | -           | -           | -                | -           | -           | -         | 1.056.000  |
| L104               | -           | -           | -                | -           | -           | -         | 1.056.000  |
| L105               | -           | -           | -                | -           | -           | -         | 1.056.000  |
| L110               | 404.544     | 812.580     | -                | -           | -           | 1.217.124 | 1.478.400  |
| L114               | -           | -           | -                | 592.842     | 365.904     | 958.746   | 1.161.600  |
| L118               | -           | -           | -                | -           | -           | -         | 1.689.600  |
| Recebido           | 1.066.788   | 812.580     | 921.756          | 592.842     | 365.904     |           |            |
| Demanda            | 1.066.788   | 812.580     | 921.756          | 592.842     | 365.904     |           |            |
| Custo total:       |             |             | R\$ 8.674.695,78 |             |             |           |            |

## JULHO/2016

| Tipos de Coloração |             |             |                  |             |             |           |            |
|--------------------|-------------|-------------|------------------|-------------|-------------|-----------|------------|
| Linhas             | Coloração 1 | Coloração 2 | Coloração 3      | Coloração 4 | Coloração 5 | Enviado   | Capacidade |
| L102               | 717.810     | -           | 866.190          | -           | -           | 1.584.000 | 1.584.000  |
| L103               | -           | -           | -                | -           | -           | -         | 1.056.000  |
| L104               | -           | -           | -                | -           | -           | -         | 1.056.000  |
| L105               | -           | -           | -                | -           | -           | -         | 1.056.000  |
| L110               | -           | 783.108     | 226.902          | 468.390     | -           | 1.478.400 | 1.478.400  |
| L114               | -           | -           | -                | 268.320     | 291.888     | 560.208   | 1.161.600  |
| L118               | -           | -           | -                | -           | -           | -         | 1.689.600  |
| Recebido           | 717.810     | 783.108     | 1.093.092        | 736.710     | 291.888     |           |            |
| Demanda            | 717.810     | 783.108     | 1.093.092        | 736.710     | 291.888     |           |            |
| Custo total:       |             |             | R\$ 8.378.519,34 |             |             |           |            |

## AGOSTO/2016

| Tipos de Coloração |             |             |                  |             |             |           |            |
|--------------------|-------------|-------------|------------------|-------------|-------------|-----------|------------|
| Linhas             | Coloração 1 | Coloração 2 | Coloração 3      | Coloração 4 | Coloração 5 | Enviado   | Capacidade |
| L102               | 508.128     | -           | 1.075.872        | -           | -           | 1.584.000 | 1.584.000  |
| L103               | -           | -           | -                | -           | -           | -         | 1.056.000  |
| L104               | -           | -           | -                | -           | -           | -         | 1.056.000  |
| L105               | -           | -           | -                | -           | -           | -         | 1.056.000  |
| L110               | 75.612      | 585.696     | -                | -           | -           | 661.308   | 1.478.400  |
| L114               | -           | -           | -                | 520.758     | 403.056     | 923.814   | 1.161.600  |
| L118               | -           | -           | -                | -           | -           | -         | 1.689.600  |
| Recebido           | 583.740     | 585.696     | 1.075.872        | 520.758     | 403.056     |           |            |
| Demanda            | 583.740     | 585.696     | 1.075.872        | 520.758     | 403.056     |           |            |
| Custo total:       |             |             | R\$ 7.576.192,14 |             |             |           |            |

## SETEMBRO/2016

| Tipos de Coloração |             |             |                   |             |             |           |            |
|--------------------|-------------|-------------|-------------------|-------------|-------------|-----------|------------|
| Linhas             | Coloração 1 | Coloração 2 | Coloração 3       | Coloração 4 | Coloração 5 | Enviado   | Capacidade |
| L102               | 812.490     | 771.510     | -                 | -           | -           | 1.584.000 | 1.584.000  |
| L103               | -           | -           | -                 | -           | -           | -         | 1.056.000  |
| L104               | -           | -           | -                 | -           | -           | -         | 1.056.000  |
| L105               | -           | -           | -                 | -           | -           | -         | 1.056.000  |
| L110               | -           | 277.800     | 1.200.600         | -           | -           | 1.478.400 | 1.478.400  |
| L114               | -           | -           | -                 | 823.854     | 322.344     | 1.146.198 | 1.161.600  |
| L118               | -           | 226.830     | -                 | -           | -           | 226.830   | 1.689.600  |
| Recebido           | 812.490     | 1.276.140   | 1.200.600         | 823.854     | 322.344     |           |            |
| Demanda            | 812.490     | 1.276.140   | 1.200.600         | 823.854     | 322.344     |           |            |
| Custo total:       |             |             | R\$ 10.174.209,13 |             |             |           |            |

## OUTUBRO/2016

| Tipos de Coloração |             |             |                  |             |             |           |            |
|--------------------|-------------|-------------|------------------|-------------|-------------|-----------|------------|
| Linhas             | Coloração 1 | Coloração 2 | Coloração 3      | Coloração 4 | Coloração 5 | Enviado   | Capacidade |
| L102               | 836.334     | -           | 747.666          | -           | -           | 1.584.000 | 1.584.000  |
| L103               | -           | -           | -                | -           | -           | -         | 1.056.000  |
| L104               | -           | -           | -                | -           | -           | -         | 1.056.000  |
| L105               | -           | -           | -                | -           | -           | -         | 1.056.000  |
| L110               | -           | 767.376     | 402.810          | 308.214     | -           | 1.478.400 | 1.478.400  |
| L114               | -           | -           | -                | 279.756     | 352.512     | 632.268   | 1.161.600  |
| L118               | -           | -           | -                | -           | -           | -         | 1.689.600  |
| Recebido           | 836.334     | 767.376     | 1.150.476        | 587.970     | 352.512     |           |            |
| Demanda            | 836.334     | 767.376     | 1.150.476        | 587.970     | 352.512     |           |            |
| Custo total:       |             |             | R\$ 8.691.252,78 |             |             |           |            |

\*

## NOVEMBRO/2016

| Tipos de Coloração |             |             |                  |             |             |           |            |
|--------------------|-------------|-------------|------------------|-------------|-------------|-----------|------------|
| Linhas             | Coloração 1 | Coloração 2 | Coloração 3      | Coloração 4 | Coloração 5 | Enviado   | Capacidade |
| L102               | 895.440     | -           | 688.560          | -           | -           | 1.584.000 | 1.584.000  |
| L103               | -           | -           | -                | -           | -           | -         | 1.056.000  |
| L104               | -           | -           | -                | -           | -           | -         | 1.056.000  |
| L105               | -           | -           | -                | -           | -           | -         | 1.056.000  |
| L110               | -           | 1.001.724   | 443.136          | 33.540      | -           | 1.478.400 | 1.478.400  |
| L114               | -           | -           | -                | 534.036     | 299.592     | 833.628   | 1.161.600  |
| L118               | -           | -           | -                | -           | -           | -         | 1.689.600  |
| Recebido           | 895.440     | 1.001.724   | 1.131.696        | 567.576     | 299.592     |           |            |
| Demanda            | 895.440     | 1.001.724   | 1.131.696        | 567.576     | 299.592     |           |            |
| Custo total:       |             |             | R\$ 9.081.299,88 |             |             |           |            |