

## Engenharia de Produção: What's Your Plan?



Marcos William Kaspchak Machado  
(Organizador)

# Engenharia de Produção: What's Your Plan?

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Natália Sandrini e Lorena Prestes

Revisão: Os autores

#### Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

E57 Engenharia de produção: what's your plan? [recurso eletrônico] /  
Organizador Marcos William Kaspchak Machado. – Ponta  
Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Engenharia de Produção:  
What's Your Plan?; v. 1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-253-1

DOI 10.22533/at.ed.531191204

1. Engenharia de produção – Pesquisa – Brasil. I. Machado,  
Marcos William Kaspchak. II. Série.

CDD 620.0072

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de  
responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos  
autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

A obra “*Engenharia da Produção: What’s your plan?*” é subdividida de 4 volumes. O primeiro volume, com 35 capítulos, é constituído com estudos contemporâneos relacionados aos processos de gestão do conhecimento e educação na engenharia, além das áreas de engenharia econômica e tomada de decisão através de pesquisa operacional.

Tanto a gestão de conhecimento como a educação na engenharia mostram a evolução das ferramentas aplicadas ao contexto educacional e empresarial. Algumas delas, provenientes de estudos científicos, baseiam os processos de tomadas de decisão e gestão estratégica dos recursos utilizados na produção. Além disso, os estudos científicos sobre o desenvolvimento da educação em engenharia mostram novos direcionamentos para os estudantes, quanto à sua formação e inserção no mercado de trabalho.

Na segunda parte da obra, são apresentados estudos sobre a aplicação da gestão de custos, investimentos em ativos e operações de controle financeiro em organizações. E outros, que representam a aplicação de ferramentas de método multicritério de tomada à decisão empresarial que auxiliam os gestores a escolher adequadamente a aplicação de seus recursos.

Aos autores dos capítulos, ficam registrados os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora, pela dedicação e empenho sem limites que tornaram realidade esta obra que retrata os recentes avanços científicos do tema.

Por fim, espero que esta obra venha a corroborar no desenvolvimento de conhecimentos e inovações, e auxilie os estudantes e pesquisadores na imersão em novas reflexões acerca dos tópicos relevantes na área de engenharia de produção.

Boa leitura!

Marcos William Kaspchak Machado

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
FATORES CRÍTICOS DE SUCESSO NO BRASIL: UM PANORAMA NA PESQUISA EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO	
Rodrigo Salgado Martuchelli Fernando Luiz Goldman	
DOI 10.22533/at.ed.5311912041	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>17</b>
A ESCOLHA DO TEMA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC) NA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO COMO UM PROBLEMA DE TOMADA DE DECISÃO	
Ian Viana Coutinho Emmanuel Paiva de Andrade Edna Ribeiro Alves Celia Cristina Pecini Von Kriiger Liliane Almeida	
DOI 10.22533/at.ed.5311912042	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>29</b>
ENSINO 3.0: A FORMAÇÃO ACADÊMICA EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO PAUTADA NO DESENVOLVIMENTO DE COMPETÊNCIAS	
Éder Wilian de Macedo Siqueira	
DOI 10.22533/at.ed.5311912043	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>41</b>
SERVITIZAÇÃO E INDÚSTRIA 4.0 NA MANUFATURA: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA	
Matheus Phelipe Vendramini Alexandre Tadeu Simon	
DOI 10.22533/at.ed.5311912044	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>53</b>
A INOVAÇÃO NAS EMPRESAS DE PEQUENO PORTE: UMA ANÁLISE DO DESENVOLVIMENTO ORGANIZACIONAL ATRAVÉS DO GRAU DE INOVAÇÃO	
Auristela Maria da Silva André Marques Cavalcanti Gabriel Herminio de Andrade Lima	
DOI 10.22533/at.ed.5311912045	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>64</b>
ALINHAMENTO ESTRATÉGICO ENTRE A TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E O PLANEJAMENTO DOS NEGÓCIOS BASEADO NA GESTÃO DE TI	
Rafael Nunes de Campos Íris Bento da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.5311912046	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>76</b>
COACHING: UMA REVISÃO DA LITERATURA	
Maria de Fatima do Nascimento Brandão Níssia Carvalho Rosa Berginate	
DOI 10.22533/at.ed.5311912047	

<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>95</b>
GESTÃO DAS PARTES INTERESSADAS E INOVAÇÃO ABERTA: UM ENSAIO TEÓRICO NA PERSPECTIVA DO GERENCIAMENTO DE PROJETOS	
Priscila Nesello Ana Cristina Fachinelli	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5311912048</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>111</b>
GERENCIAMENTO DE PROJETOS: COMPARATIVO BIBLIOMÉTRICO DOS ANAIS DE CONGRESSOS BRASILEIROS NA ÁREA DE ADMINISTRAÇÃO E ENGENHARIA DE PRODUÇÃO	
Ronielton Rezende Oliveira Patricia Souza Amaral Tardivo Boldorini Henrique Cordeiro Martins Alexandre Teixeira Dias	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5311912049</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>136</b>
GESTÃO DO CONHECIMENTO NO DEPARTAMENTO PÓS-OBRA	
Erick Areco Cáceres Silvia de Toledo Gomes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.53119120410</b>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>153</b>
MODELO DE ANÁLISE DE PREDIÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DAS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS UTILIZANDO CADEIAS DE MARKOV	
Auristela Maria da Silva André Marques Cavalcanti Gabriel Herminio de Andrade Lima	
<b>DOI 10.22533/at.ed.53119120411</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>167</b>
MODELOS DE MATURIDADE EM GESTÃO DE PROJETOS: UMA ANÁLISE COMPARATIVA	
Rafael de Azevedo Palhares Natalia Veloso Caldas de Vasconcelos Mariana Simião Brasil de Oliveira Arthur Arcelino de Brito Paulo Ellery de Oliveira Pedro Osvaldo Alencar Regis Nathaly Silva de Santana Pablo Veronese de Lima Rocha Ricardo André Rodrigues Filho	
<b>DOI 10.22533/at.ed.53119120412</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>182</b>
O USO DA MANUTENÇÃO COMO ESTRATÉGIA DE NEGÓCIO NO SERVIÇO DE PÓS-VENDA EM UM SISTEMA PRODUTO-SERVIÇO	
Paulo Mantelatto Pecorari Carlos Roberto Camello Lima	
<b>DOI 10.22533/at.ed.53119120413</b>	

<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>194</b>
PRÁTICAS DE MEDIAÇÃO: A APLICAÇÃO DO GOOGLE CLASSROOM COMO BASE DA DISCIPLINA DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO NO CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO	
Julio Cesar Ferreira dos Passos Maria Juliana Goes Coelho da Cruz Ricardo Venturinelí Simone Seixas Picarelli	
<b>DOI 10.22533/at.ed.53119120414</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>205</b>
SOLUÇÃO TECNOLÓGICA EM REALIDADE VIRTUAL PARA TREINAMENTO DE ATLETAS PARALÍMPICOS: O CASO DO TREINA+	
Bernardo Vasconcelos de Carvalho Luiz Guilherme Rodrigues Antunes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.53119120415</b>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>217</b>
TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E AGRONEGÓCIO: PRINCIPAIS REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
Luiz Ricardo Oliveira Begali Eduardo Gomes Carvalho Weider Pereira Rodrigues Lázaro Eduardo da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.53119120416</b>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>230</b>
ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DOS MUNICÍPIOS PARAIBANOS NA APLICAÇÃO DE RECURSOS DO GOVERNO FEDERAL PARA O CONTROLE DA DOENÇA DE CHAGAS: UMA INVESTIGAÇÃO POR MEIO DE ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS	
Jonas Cordeiro de Araújo Edlaine Correia Sinézio Martins	
<b>DOI 10.22533/at.ed.53119120417</b>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>245</b>
ANÁLISE DA VIABILIDADE DO PROCESSO DE AUTOMATIZAÇÃO NA LINHA DE MONTAGEM EM UMA EMPRESA DE INTERRUPTORES	
Leonardo Ayres Cordeiro Matheus Dias Guedes de Oliveira Nayara Aparecida Rocha Ferreira Sílvia Gabriela Macieira Ramos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.53119120418</b>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>258</b>
ANÁLISE DE INVESTIMENTOS EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM UMA UNIVERSIDADE	
Roni Mateus Machado Rigo Anderson Felipe Habekost Cristiano Roos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.53119120419</b>	

<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>270</b>
ESTIMATIVAS DAS ELASTICIDADES PREÇO E RENDA DA DEMANDA POR ENERGIA ELÉTRICA RESIDENCIAL E POR REGIÃO GEOGRÁFICA DO BRASIL	
Palloma da Costa e Silva Roberta Montello Amaral	
<b>DOI 10.22533/at.ed.53119120420</b>	
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>283</b>
COMPARATIVO DO CUSTO TOTAL DE PROPRIEDADE DE VEÍCULOS DE TRANSPORTE DE FUNCIONÁRIOS: ESTUDO DE CASO EM FÁBRICA DE CONFECÇÕES	
Nelize Aparecida de Souza Rodney Wernke Antonio Zanin	
<b>DOI 10.22533/at.ed.53119120421</b>	
<b>CAPÍTULO 22</b> .....	<b>294</b>
ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA PARA CRIAÇÃO DE UMA INCUBADORA TECNOLÓGICA EM LORENA	
Thamara Gonçalves Vilela Prado Marco Antonio Pereira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.53119120422</b>	
<b>CAPÍTULO 23</b> .....	<b>307</b>
MÉTODO FLUXO DE CAIXA DESCONTADO: ANÁLISE FINANCEIRA DA PETROBRAS	
Evandir Megliorini Ian Miller Osmar Domingues José Roberto Tálamo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.53119120423</b>	
<b>CAPÍTULO 24</b> .....	<b>318</b>
MÉTODO <i>PRICE BAND</i> APLICADO NA PRECIFICAÇÃO DE PRODUTOS EM UMA REDE VAREJISTA	
O'mara Guimarães da Costa Natália Varela da Rocha Kloeckner	
<b>DOI 10.22533/at.ed.53119120424</b>	
<b>CAPÍTULO 25</b> .....	<b>328</b>
PREVISÃO DO PREÇO DO CIMENTO PORTLAND NOS ESTADOS DA REGIÃO SUL DO BRASIL	
Patricia Cristiane da Cunha Xavier Adriano Mendonça Souza	
<b>DOI 10.22533/at.ed.53119120425</b>	
<b>CAPÍTULO 26</b> .....	<b>344</b>
PROPOSTA DE UM DIAGNÓSTICO DOS ATIVOS INTANGÍVEIS EM EMPRESAS DE BASE TECNOLÓGICA DO SETOR DE ENERGIA	
Vinícius Jaques Gerhardt Julio Cezar Mairesse Siluk Jordana Rech Graciano dos Santos Mariana Soncini Minuzzi Claudia de Freitas Michelin	
<b>DOI 10.22533/at.ed.53119120426</b>	

<b>CAPÍTULO 27</b> .....	<b>356</b>
APLICAÇÃO DA OTIMIZAÇÃO EM REDES EM UMA EMPRESA DO SETOR AVÍCOLA	
Luana Teixeira Sousa	
Ananda Gianotto Veiga	
Mariana Ferreira de Carvalho Chaves	
Marcus Vinicius Vaz	
Stella Jacyszyn Bachega	
<b>DOI 10.22533/at.ed.53119120427</b>	
<b>CAPÍTULO 28</b> .....	<b>368</b>
COMPARAÇÃO DE TÉCNICAS DE FORECASTING PARA SÉRIES SAZONAIS: UMA APLICAÇÃO PARA PREVISÃO DA UMIDADE RELATIVA DO AR EM SANTA MARIA – RS	
Liane Werner	
Cleber Bisognin	
<b>DOI 10.22533/at.ed.53119120428</b>	
<b>CAPÍTULO 29</b> .....	<b>380</b>
DESENVOLVIMENTO DO MENOR CAMINHO PARA A MELHORIA DAS LINHAS DE ÔNIBUS EM UM BAIRRO NO MUNICÍPIO DE ARACAJU - SE	
Tayane Magalhaes Alvaia	
Hellen Mariany Santos	
Marcos Wandir Nery Lobao	
Jose Ricardo Menezes Oliveira	
Glaucia Regina de Oliveira Almeida	
<b>DOI 10.22533/at.ed.53119120429</b>	
<b>CAPÍTULO 30</b> .....	<b>391</b>
ELABORAÇÃO E VALIDAÇÃO DE QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DE SERVIÇOS BASEADO NOS MÉTODOS SERVQUAL E SMARTS: APLICAÇÃO EM TERMINAIS AEROPORTUÁRIOS	
João Paulo Figueira Marchesi	
Janaina Figueira Marchesi	
<b>DOI 10.22533/at.ed.53119120430</b>	
<b>CAPÍTULO 31</b> .....	<b>407</b>
MODELO MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO PARA ESCOLHA DE UM TRANSPORTADOR TERCEIRIZADO ATRAVÉS DO MÉTODO PROMETHEE II	
Mirian Batista de Oliveira Bortoluzzi	
Monica Frank Marsaro	
<b>DOI 10.22533/at.ed.53119120431</b>	
<b>CAPÍTULO 32</b> .....	<b>420</b>
SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA OTIMIZAÇÃO DE ROTAS EM UMA FÁBRICA DE PÃES	
Kassia Tonheiro Rodrigues	
Carolina Lino Martins	
Kurt Costa Peters	
Naylil Liria Baldin Lacerda	
Luiz Junior Maemura Yoshiura	
<b>DOI 10.22533/at.ed.53119120432</b>	

<b>CAPÍTULO 33</b> .....	<b>431</b>
USO DA <i>CONJOINT ANALYSIS</i> PARA AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS DA EMBALAGEM DE CASTANHA DE BARU NA PREFERÊNCIA DOS CONSUMIDORES MATO-GROSSENSES	
Eduardo José Oenning Soares Rodrigo Carniel Sefstron Rodolfo Benedito da Silva Alexandre Gonçalves Porto Alexandre Volkmann Ultramari	
<b>DOI 10.22533/at.ed.53119120433</b>	
<b>CAPÍTULO 34</b> .....	<b>442</b>
ANÁLISE DOS FUNDOS BRASILEIROS DE ÍNDICE ATIVO: EXISTE RELAÇÃO ENTRE A TAXA DE ADMINISTRAÇÃO E OS RESULTADOS ENTREGUES AOS INVESTIDORES?	
Igor Soares Pinto Coelho Marcelo Albano Mauricio da Rocha José Guilherme Chaves Alberto Adriano Cordeiro Leite	
<b>DOI 10.22533/at.ed.53119120434</b>	
<b>CAPÍTULO 35</b> .....	<b>453</b>
OTIMIZAÇÃO DO MIX DE PRODUÇÃO EM UMA INDÚSTRIA DE TINTAS E REVESTIMENTOS	
Ariane Schio de Azevedo Carolina Lino Martins João Batista Sarmento dos Santos Neto Kassia Tonheiro Rodrigues Luiz Junior Maemura Yoshiura	
<b>DOI 10.22533/at.ed.53119120435</b>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>473</b>

## OTIMIZAÇÃO DO MIX DE PRODUÇÃO EM UMA INDÚSTRIA DE TINTAS E REVESTIMENTOS

### **Ariane Schio de Azevedo**

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Campo Grande - MS

### **Carolina Lino Martins**

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Campo Grande - MS

### **João Batista Sarmiento dos Santos Neto**

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Campo Grande - MS

### **Kassia Tonheiro Rodrigues**

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Campo Grande - MS

### **Luiz Junior Maemura Yoshiura**

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Campo Grande - MS

**RESUMO:** O presente trabalho possui como objetivo a definição do mix de produção ótimo em uma indústria de tintas e revestimentos no município de Campo Grande – MS. Este objetivo foi atingido através do desenvolvimento de um modelo de programação linear, um método de pesquisa operacional muito utilizado por ser de fácil e ampla aplicação. Para o desenvolvimento do modelo, realizou-se uma etapa de coleta dos dados da empresa, que se deu através de observações, entrevistas semiestruturadas e análise de documentos e relatórios da empresa. Com esses dados foi possível

construir o modelo que teve como variáveis os principais produtos desta indústria, como função objetivo a maximização do lucro e como restrições a capacidade produtiva da indústria, a disponibilidade de matérias-primas e a necessidade de atendimento de uma demanda mínima de cada produto. O modelo foi resolvido com a ferramenta Solver do software Microsoft Excel. O modelo foi validado ao fazer alterações de apenas uma unidade nos dados de entrada e analisar que as alterações nos resultados foram as alterações esperadas. Foi obtida uma solução ótima viável. Realizou-se uma análise de sensibilidade da solução por meio da interpretação dos relatórios de respostas, de sensibilidade e de limites gerados pelo Solver. A partir dos resultados obtidos e das observações realizadas anteriormente, foram propostas sugestões de melhorias para os processos da empresa e elaborado um plano de ação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Pesquisa operacional. Programação linear. Indústria de tintas e revestimentos. Mix de produção. Processo de tomada de decisão.

**ABSTRACT:** The present work aims to define the product mix in an industry of coatings in the city of Campo Grande - MS. This goal was achieved through the development of a linear programming model, an operational research method widely used and relatively simple to

apply. For the development of the model, a stage of data collection of the company was carried out, through observations, semi-structured interviews and analysis of documents and reports of the company. With this data it was possible to build the model that had as variables the main products of the industry, as the objective function the maximization of the profit and as constraints the productive capacity of the industry, the availability of input materials and the need to achieve a minimum demand of each product. The model was solved through the Microsoft Excel software tool Solver. The model was validated by changing one unit in the input data and analyzing that the results met the expected results. A viable optimal solution was obtained. A sensitivity analysis was carried out through the interpretation of the answer, sensibility and limits reports generated by the Solver. From the results obtained and the observations made, suggestions for improvements of the company's processes were proposed and a plan of action was elaborated.

**KEYWORDS:** Operational Research. Linear Programming. Coatings industry. Production mix problems. Decision making process.

## 1 | INTRODUÇÃO

As condições do ambiente de negócios mudam constantemente e se tornam cada dia mais complexas, o que tem gerado às empresas o desafio de se manterem competitivas. Isso tem exigido dos gestores habilidades cada vez mais desenvolvidas em análise da situação competitiva atual e das forças do ambiente, presentes ou incipientes, que podem provocar mudanças, e na elaboração de cenários futuros (ANDRADE, 2015).

Os modelos matemáticos podem ser utilizados como ferramentas consistentes para auxílio a tomada de decisão no ambiente organizacional. Neste sentido, a Pesquisa Operacional (PO) se torna cada vez mais útil e importante por proporcionar um procedimento organizado e consistente que auxilia na tarefa de gestão de recursos humanos, materiais e financeiros de uma organização, abrangendo diversas áreas, modelos e algoritmos que permitem ao gestor tomar decisão em problemas complexos (LACHTERMACHER, 2007; MARINS, 2011).

Uma das técnicas mais utilizadas na prática é a programação linear, que busca solucionar o problema genérico de alocar recursos da melhor forma possível, considerando limitações e restrições para atividades que competem entre si, ou seja, selecionar o nível de certas atividades que competem por recursos escassos necessários para realizar essas atividades (ARENALES et al, 2015; HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

Com isso, percebe-se que a aplicação da programação linear pode permitir a uma indústria informações que podem na prática melhorar seus resultados. Sendo assim, propôs-se a aplicação da programação linear em uma indústria de tintas e revestimentos localizada em Campo Grande – MS que tem buscado melhorar seus processos para planejar ações que possibilitem a melhoria de resultados também a

médio e longo prazo. O intuito é encontrar o *mix* de produção ótimo para a empresa, em função dos seus recursos disponíveis. Para modelar o problema, foram considerados dados fornecidos pela empresa no que tange a linha de produtos, preço e lucro por produto e etc. A partir disso, foi elaborado um problema de Programação Linear e buscou-se encontrar o máximo lucro possível.

## 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A tomada de decisão pode ser definida como o processo de identificar um problema ou uma oportunidade e selecionar uma linha de ação para resolvê-lo, ou seja, uma tomada de decisão acontece quando se percebe que o estado atual de uma situação é diferente do estado desejado ou quando as circunstâncias oferecem possibilidades de melhoria da situação atual e deseja-se realizar ações para alterar a situação atual (LACHTERMACHER, 2007).

A pesquisa operacional pode ser aplicada para uma grande variedade de problemas em diversas áreas, pode ser definida como uma ciência aplicada que utiliza técnicas científicas conhecidas ou desenvolvidas para a situação específica estudada, tendo como base a aplicação do método científico. Uma característica interessante da PO é a busca pela melhor solução para o problema, a solução ótima (HILLIER; LIEBERMAN, 2006; MARINS, 2011).

A técnica a ser utilizada para resolver os modelos matemáticos, em PO, vai depender do seu tipo e complexidade. A técnica mais utilizada é a programação linear que é aplicada a modelos nos quais a função objetivo e as restrições são lineares. Problemas de programação linear (PL) são problemas de otimização nos quais se deseja minimizar ou maximizar uma função linear com restrições também lineares fazendo o uso de variáveis contínuas. Os modelos de otimização linear são utilizados com muita frequência na prática, por serem capazes de representar muitas situações reais e também por conseguirem representar subproblemas de situações mais complexas. Um modelo de programação linear, como outros de pesquisa operacional, é composto por três componentes: as variáveis de decisão que se deseja determinar, o objetivo que se deseja otimizar e as restrições que devem ser cumpridas pela solução (PINTO; MENEZES, 2008; TAHA, 2008; ARENALES et al., 2015).

De acordo com Lachtermacher (2007), um problema padrão de programação linear pode ser representado matematicamente da seguinte maneira:

$$\text{Maximizar: } Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

Sujeito a:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2$$

$$\vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots$$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m$$

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$$

Figura 1 – Padrão de programação linear

Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

Em que  $Z$  é a função objetivo que se deseja maximizar,  $n$  é o número de variáveis,  $m$  é o número de restrições,  $c_n$  é o coeficiente da variável  $x_n$  e  $a_{mn}$  é o coeficiente da variável  $x_n$  na restrição de número  $m$ .

Em geral, o uso da programação linear busca alocar recursos limitados da melhor forma possível para diferentes atividades que competem entre si, ou seja, determinar o nível de certas atividades que competem por recursos escassos necessários para ambas de acordo com o consumo de cada recurso. Isso pode ser aplicado a diversas situações, como, por exemplo, alocação de recursos de produção a produtos, alocação de recursos nacionais a necessidades domésticas, seleção de portfólio, seleção de padrões de embarque, do planejamento agrícola a sessões de radioterapia, entre outros (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

Modelos com uma quantidade de variáveis e que exigirão muitos cálculos, o que torna a resolução demorada e cansativa, podem ser resolvidos com o uso de softwares como, a função Solver do Microsoft Excel. Esta ferramenta resolve problemas genéricos de programação matemática, usando o método Simplex para problemas lineares e inteiros (LESCH; HEIN, 2009).

Um problema de *mix* de produção, também chamado de problema da análise de atividades, consiste na determinação do objetivo ótimo, representado geralmente pelo maior lucro possível ou a maior receita de venda, que se pode alcançar com a produção de  $n$  unidades de determinado bem ou serviço, em situações nas quais os recursos disponíveis (quantidade de dinheiro, mão de obra, matérias-primas, máquinas de produção, instalações, demanda no mercado etc.) são limitados ou escassos (LONGARAY, 2013).

## 3 | METODOLOGIA

### 3.1 Definição do problema

O estudo de caso foi realizado em uma indústria de tintas e revestimentos localizada em Campo Grande - MS. O portfólio de produtos da indústria engloba uma linha de tintas e revestimentos imobiliários e os produtos são divididos quanto à fabricação em: base solvente e base água, estando os produtos desta segunda forma divididos entre as linhas látex, revestimentos e complementos.

A indústria estudada tem buscado desenvolver e aumentar sua produção, porém, tem se deparado com diversos obstáculos. Sendo assim, propôs-se a aplicação da programação linear na tentativa de definir o *mix* de produção que proporciona maior lucro à empresa e para compreender melhor as restrições dos processos da mesma.

Foram identificadas como principais restrições na indústria estudada: a capacidade dos equipamentos, a disponibilidade de matérias-primas e a necessidade de atendimento das demandas de todos os produtos. Feito isso, passou-se para a construção do modelo descrito a seguir.

### 3.2 Construção do modelo

As variáveis consideradas para o modelo foram os principais produtos fabricados nesta indústria e a função - objetivo do modelo uma variável de decisão para cada produto, com coeficiente representado pelo respectivo lucro.

Foi informado pela empresa um valor médio do lucro de cada produto dado que podem haver variações de acordo com as negociações e contratos com clientes. Pode-se observar estes valores no Quadro 1.

Linha de Produtos	Produto	Variável	Lucro médio por kg
Linha látex	Tinta acrílica premium	11	R\$ 2,82
	Tinta para piso	12	R\$ 2,35
	Tinta acrílica	13	R\$ 2,44
Base solvente	Esmalte	s1	R\$ 5,15
	Verniz	s2	R\$ 4,49
Complementos	Fundo preparador	c1	R\$ 2,29
	Massa acrílica	c2	R\$ 1,67
	Selador	c3	R\$ 0,92
	Massa PVA	c4	R\$ 0,40
Revestimentos	Grafato	r1	R\$ 0,93
	Graliti	r2	R\$ 1,56
	Textura	r3	R\$ 1,03

Quadro 1 – Variáveis do modelo e lucro médio por quilograma de cada produto

Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

A somatória entre as variáveis e seus respectivos lucros formaram a equação da função objetivo com o objetivo de maximizar:

$$\begin{aligned} \text{Max } Z = & 2,82 l_1 + 2,35 l_2 + 2,44 l_3 + 5,15 s_1 + 4,49 s_2 + 2,29 c_1 + 1,67 c_2 + \\ & 0,92 c_3 + 0,4 c_4 + 0,93 r_1 + 1,56 r_2 + 1,03 r_3 \end{aligned} \quad (1)$$

Para o problema de definição do *mix*, uma das restrições identificadas foi a capacidade. A indústria não soube informar o tempo gasto em cada etapa de produção, porém informou uma estimativa de quantas ordens de produção cada linha de produção é capaz de executar diariamente e afirmou que é por meio destas quantidades que a produção é planejada.

A capacidade foi calculada por meio do produto entre a quantidade de ordens de produção diárias e a capacidade máxima em quilogramas dos tachos disponíveis. As quantidades informadas e as capacidades calculadas, são apresentadas no Quadro 2.

Linha de produção	Equipamentos	Ordens de produção/dia	Capacidade em kg/dia	Capacidade em kg/mês	Produto
1	1 batedor	6	4700	103400	Revestimentos
	1 tacho de 350 kg				
	1 tacho de 750 kg				
	1 tacho de 1250 kg				
2	1 batedor	6	4700	103400	Revestimentos
	1 tacho de 350 kg				
	1 tacho de 750 kg				
	1 tacho de 1250 kg				
3	1 batedor	6	4700	103400	Revestimentos
	1 tacho de 350 kg				
	1 tacho de 750 kg				
	1 tacho de 1250 kg				
4	1 batedor	3	7500	165000	Revestimentos
	3 tachos de 2500 kg				
5	1 batedor	5	15000	330000	Massa PVA e Acrílica
	3 tachos de 3000 kg				
6	1 batedor	5	15000	330000	Linha látex
	3 tachos de 3000 kg				
7	1 batedor	5	15000	330000	Linha látex ou complementos
	3 tachos de 3000 kg				
8	2 batedores	4	21200	466400	Linha látex
	2 tachos de 5300 kg				
	1 envasadora semi-automática				
9	4 batedores	6	11000	242000	Linha látex
	2 tachos de 2300 kg				
	2 tachos de 1600 kg				
10	1 batedor	4	11600	255200	Linha látex ou revestimentos
	4 tachos de 2900 kg				
11	1 batedor	4	8800	193600	Linha látex ou revestimentos
	3 tachos de 2200 kg				
12	3 batedores	5	4500	99000	Produtos base solvente
	5 tachos de 900 kg				
	1 tacho de 540 kg				
	2 envasadoras				

Quadro 2 – Capacidades de cada linha de produção da indústria

Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

No Quadro 2, é possível observar as capacidades máximas de cada linha de produção e como estas foram calculadas, considerando-se a utilização dos tachos de

maneira alternada, e também quais produtos podem ser fabricados em cada linha de produção. Cada linha de produção da indústria é destinada a alguns tipos de produtos específicos devido a diferenças nos motores dos batedores.

Para a formulação das restrições, foram somadas as capacidades de todas as linhas destinadas aos mesmos produtos, como mostra o Quadro 3.

RESTRICÇÕES DE CAPACIDADE		
Produtos	Linhas de Produção	Produção máxima possível em kg/mês
Revestimentos	1, 2, 3, 4, 10 e 11	924.000
Linha látex	6, 7, 8, 9, 10 e 11	1.817.200
Complementos exceto massa acrílica e passa pva	5	330.000
Massa acrílica e massa pva	5 e 7	660.000
Base água	1 à 11	2.622.400
Base solvente	12	99.000

Quadro 3 – Capacidades por produtos

Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

De acordo com o Quadro 3, a quantidade a ser produzida de cada família de produtos não deve ultrapassar a produção máxima possível. Dessa forma, obteve-se as seguintes restrições:

$$r_1 + r_2 + r_3 \leq 924000 \quad (2)$$

$$l_1 + l_2 + l_3 \leq 1817200 \quad (3)$$

$$c_1 + c_3 \leq 330000 \quad (4)$$

$$c_2 + c_4 \leq 660000 \quad (5)$$

$$r_1 + r_2 + r_3 + l_1 + l_2 + l_3 + c_1 + c_2 + c_3 + c_4 \leq 2622400 \quad (6)$$

$$s_1 + s_2 \leq 99000 \quad (7)$$

Outra restrição considerada foi a quantidade de matérias-primas disponíveis por mês, em função da limitação de espaço físico disponível para armazenamento. Para essa restrição, foi preciso conhecer quanto é usado de cada matéria-prima em cada produto e quanto de cada matéria-prima está disponível para o uso mensalmente (Quadro 4).

Produtos	Material	Quantidade disponível (kg/mês)
Revestimentos	Adivitos diversos	33.000
	Cargas inertes	735.000
	Resinas alquídicas	105.000
	Pigmentos orgânicos e inorgânicos	41.100
	Quantidade (kg/mês)	

Quadro 4 – Quantidade mensal de matérias-primas disponíveis para produtos base água.

Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

Tem-se que a soma dos produtos entre os percentuais de cada matéria-prima e a quantidade total a ser produzida deve ser menor ou igual a quantidade disponível da matéria-prima por mês. Os materiais necessários para cada um dos produtos base água são apresentados no Quadro 5.

BASE ÁGUA							
Linha de produtos	Produto	Aditivos diversos	Cargas inertes	Resinas alquídicas	Pigmentos orgânicos e inorgânicos	Água	Total
Linha látex	Tinta acrílica premium	4,60%	4,00%	30,00%	18,00%	43,40%	100,00%
	Tinta para piso	3,60%	30,00%	18,00%	10,00%	38,40%	100,00%
	Tinta acrílica	3,60%	35,00%	16,00%	8,00%	37,40%	100,00%
Complementos	Fundo preparador	2,40%	0,00%	20,00%	0,00%	77,60%	100,00%
	Massa acrílica	1,40%	65,00%	9,00%	0,00%	24,60%	100,00%
	Selador	2,30%	38,00%	7,00%	1,00%	51,70%	100,00%
	Massa PVA	1,40%	67,00%	1,80%	0,00%	29,80%	100,00%
Revestimentos	Grafato	2,32%	60,00%	8,70%	1,00%	27,98%	100,00%
	Graliti	3,70%	60,00%	9,00%	1,00%	26,30%	100,00%
	Textura	3,70%	70,00%	10,00%	1,00%	15,30%	100,00%

Quadro 5 – Necessidades materiais para cada produto base água

Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

As restrições para matéria prima encontram-se formuladas em (8), (9), (10) e (11) para Aditivos diversos, Cargas inerentes, Resinas Alquídicas e Pigmentos orgânicos e inorgânicos, respectivamente:

$$0,046 l_1 + 0,036 l_2 + 0,036 l_3 + 0,024 c_1 + 0,014 c_2 + 0,023 c_3 + 0,014 c_4 + 0,0232 r_1 + 0,037 r_2 + 0,037 r_3 \leq 33000 \quad (8)$$

$$0,04 l_1 + 0,3 l_2 + 0,35 l_3 + 0,65 c_2 + 0,38 c_3 + 0,67 c_4 + 0,6 r_1 + 0,6 r_2 + 0,7 r_3 \leq 735000 \quad (9)$$

$$0,3 l_1 + 0,18 l_2 + 0,16 l_3 + 0,2 c_1 + 0,09 c_2 + 0,07 c_3 + 0,018 c_4 + 0,087 r_1 + 0,09 r_2 + 0,1 r_3 \leq 105000 \quad (10)$$

$$0,18 l_1 + 0,1 l_2 + 0,08 l_3 + 0,01 c_3 + 0,01 r_1 + 0,01 r_2 + 0,1 r_3 \leq 41100 \quad (11)$$

Para os produtos base solvente, as necessidades materiais serão apresentadas no Quadro 6.

BASE SOLVENTE						
Linha de produtos	Produto	Aditivos diversos	Resinas alquídicas	Pigmentos orgânicos e inorgânicos	Solventes	Total
Base solvente	Esmalte	3,00%	48,00%	12,00%	37,00%	100,00%
	Verniz	3,00%	45,00%	4,00%	48,00%	100,00%

Quadro 6 – Necessidades materiais para cada produto base solvente

Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

A quantidade em que estes estão disponíveis para uso por mês é apresentada no Quadro 7.

Materiais (base solvente)	Aditivos diversos	Resinas alquídicas	Pigmentos orgânicos e inorgânicos	Solventes
Quantidade (kg/mês)	1.100	15.980	6.710	18.220

Quadro 7 – Quantidade mensal de matérias-primas disponíveis para produtos base solvente

Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

Com isso, foram formuladas as seguintes restrições:

$$0,03 s_1 + 0,03 s_2 \leq 1.100 \quad (12)$$

$$0,48 s_1 + 0,45 s_2 \leq 15.980 \quad (13)$$

$$0,12 s_1 + 0,04 s_2 \leq 6.710 \quad (14)$$

$$0,37 s_1 + 0,48 s_2 \leq 18.220 \quad (15)$$

Por fim, considerou-se como uma restrição a necessidade de atendimento a uma demanda mínima de cada produto, que foi calculada por meio da média das quantidades vendidas de cada produto no período de três meses, devido ao desejo da empresa em aumentar sua produção sem realizar qualquer alteração em seu portfólio de produtos.

Produto	Vendas em kg			
	jan/17	fev/17	mar/17	Média
Tinta acrílica premium	100.113,20	62.925,40	64.146,40	75.728,33
Tinta para piso	35.899,60	22.399,80	23.666,20	27.321,87
Tinta acrílica	68.068,80	40.559,40	55.006,60	54.544,93
Esmalte	35.035,20	20.258,00	27.753,20	27.682,13
Verniz	4.597,00	5.158,40	3.586,20	4.447,20
Fundo preparador	2.311,20	896,60	3.505,80	2.237,87
Massa acrílica	49.489,40	46.072,10	45.688,00	47.083,17
Selador	122.086,80	86.238,60	98.854,00	102.393,13
Massa PVA	351.421,70	378.123,00	257.928,40	329.157,70
Grafiato	228.766,67	295.816,67	243.800,00	256.127,78
Graliti	85.041,67	82.666,67	77.475,00	81.727,78
Textura	151.041,67	188.991,67	167.300,00	169.111,11
<b>Total</b>	<b>1.233.872,90</b>	<b>1.230.106,30</b>	<b>1.068.709,80</b>	<b>1.177.563,00</b>

Quadro 8 – Quantidade média de vendas por produto

Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

Como a indústria não deseja alterar seu portfólio de produtos, pretendendo continuar a atender as demandas atuais, a quantidade total a ser produzida deste produto não pode ser inferior a esta média de vendas. O mesmo foi considerado para os demais produtos. Portanto, foram formuladas as seguintes restrições:

$$l_1 \geq 75728,33 \quad (16)$$

$$l_2 \geq 27321,87 \quad (17)$$

$$l_3 \geq 54544,93 \quad (18)$$

$$s_1 \geq 27682,13 \quad (19)$$

$$s_2 \geq 4447,2 \quad (20)$$

$$c_1 \geq 2237,867 \quad (21)$$

$$c_2 \geq 47083,17 \quad (22)$$

$$c_3 \geq 102393,1 \quad (23)$$

$$c_4 \geq 329157,7 \quad (24)$$

$$r_1 \geq 256127,78 \quad (25)$$

$$r_2 \geq 81727,78 \quad (26)$$

$$r_3 \geq 169111,1 \quad (27)$$

As restrições foram analisadas e o modelo foi construído em planilha eletrônica do MS Excel®.

### 3.3 Solução e validação do modelo

Para a resolução do modelo foi utilizada o implemento Solver do software Microsoft Excel®. Os parâmetros utilizados para a resolução do modelo se encontram na Figura 2.

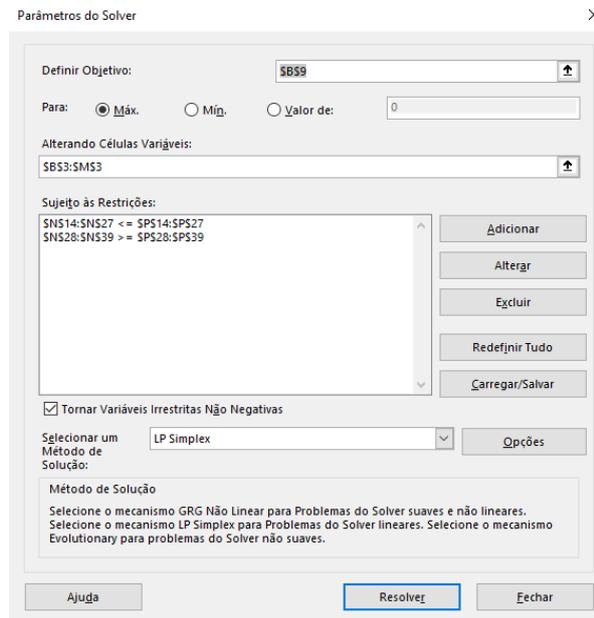


Figura 2 – Parâmetros do Solver

Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

Observa-se na Figura 2 a célula do Excel referente à função objetivo, a escolha de maximizá-la, as células referentes as variáveis, as células referentes a ambos os lados das restrições e os sinais destas, a opção por tornar as variáveis não-negativas e o método de solução escolhido, que foi o LP Simplex.

O método de solução LP Simplex realizou 17 iterações, não havendo nenhum subproblema, e encontrou uma solução ótima viável com tempo de solução de 0,047 segundos. Foram obtidos relatórios de resposta, de sensibilidade e de limites.

A validação do modelo se deu ao fazer alterações de uma unidade nos dados de entrada e analisar que as alterações nos resultados foram as alterações esperadas.

## 4 | RESULTADOS

Por meio da otimização, foi possível obter o *mix* de produção para a empresa estudada com a quantidade de produção definida cada produto: 75.728,33 quilogramas de tinta acrílica *premium*, 27.321,86 quilogramas de tinta para piso, 54.544,93 quilogramas de tinta acrílica, 29.122,42 quilogramas de esmalte, 4.447,2 quilogramas de verniz, 2.237,87 quilogramas de fundo preparador, 71.844,56 quilogramas de massa acrílica, 102.393,13 quilogramas de selador, 444.752,40 quilogramas de massa pva, 256.127,78 quilogramas de grafiato, 81.727,78 quilogramas de graliti e

169.111,11 quilogramas de textura. Isso representa uma produção total de 1.319.359,39 quilogramas.

O *mix* de produção proposto proporciona como lucro máximo o valor de R\$ 1.516.544,95. Na Figura 3, pode ser observada uma comparação entre a quantidade proposta pelo modelo e a quantidade média obtida atualmente pela empresa.

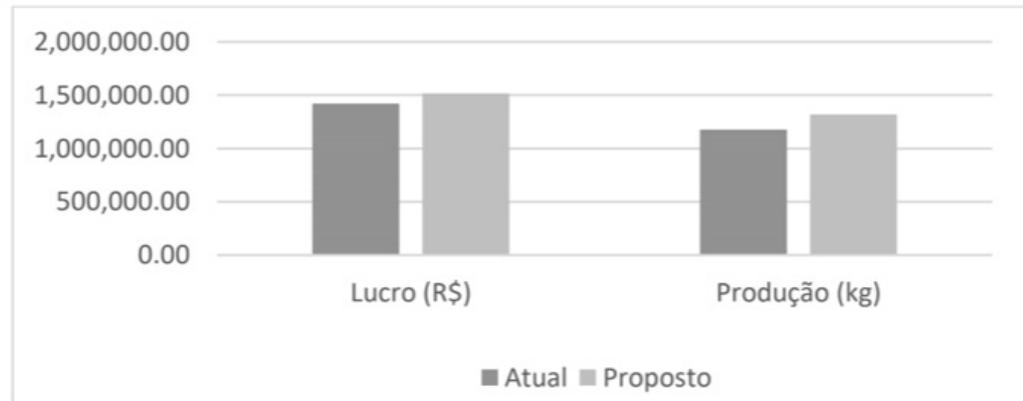


Figura 3 – Comparação entre os resultados propostos e uma média dos resultados atuais

Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

O resultado proposto pelo modelo sugere que a empresa poderia ter um aumento de 7% nos lucros totais e em termos de produção, um aumento de 12% em comparação com a quantidade de vendas média mensal.

As quantidades ótimas de produção de cada item indicada pelo Solver foram comparadas com as quantidades médias de venda mensais para cada item calculadas (Figura 4).

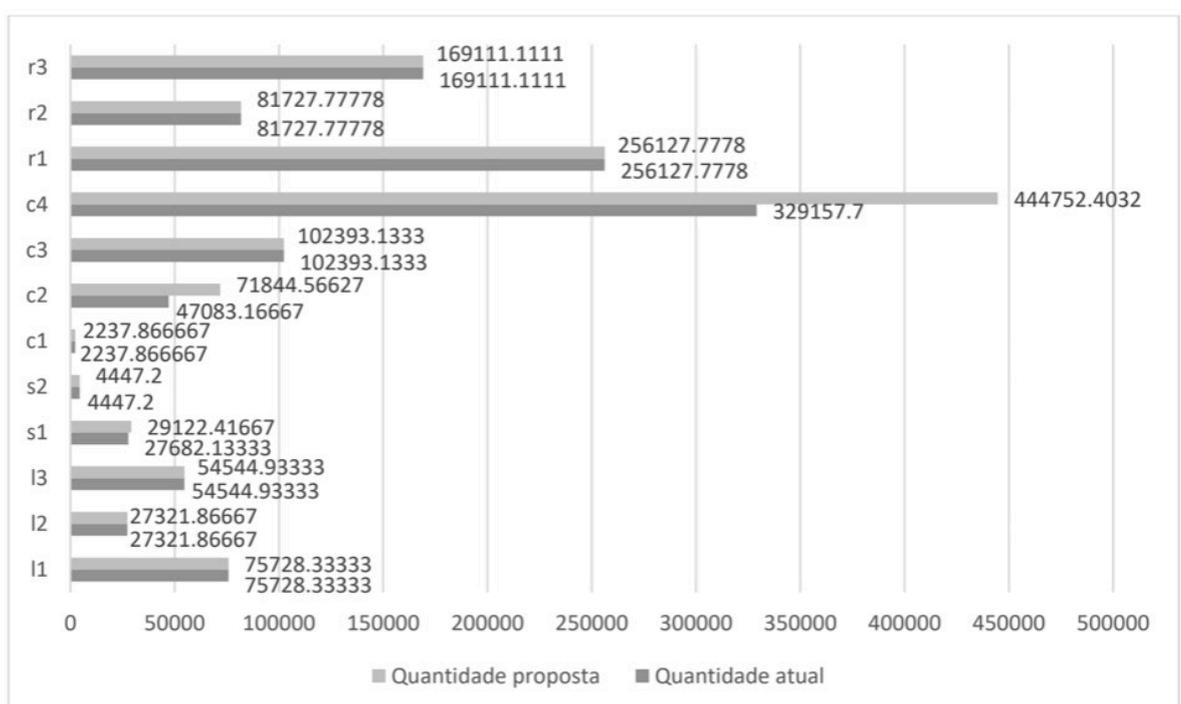


Figura 4 – Comparação entre a quantidade de produção proposta e média de vendas mensais

Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

É possível observar que apenas os produtos c4 (massa pva), c2 (massa acrílica) e s1 (esmalte) apresentaram variação entre essas quantidades, aumentando 115.594,7, 24.761,39 e 1.440,28 quilogramas respectivamente. Para os demais produtos a quantidade indicada pelo Solver foi a mesma quantidade considerada como demanda mínima nas restrições do modelo.

#### 4.1 Análise de sensibilidade

Para que os resultados do modelo possam ser compreendidos com mais profundidade, o Solver proporciona três relatórios com informações adicionais, sendo eles: relatório de respostas, relatório de sensibilidade e relatório de limites.

Na primeira parte do relatório de respostas, é possível observar os resultados obtidos para a função objetivo e para as variáveis. A segunda parte do relatório de respostas trata dos resultados obtidos para as restrições estipuladas (Figura 4).

Restrições						
	Célula	Nome	Valor da Célula	Fórmula	Status	Margem de Atraso
Capacidade	\$N\$14	1	506966,6667	$\$N\$14 \leq \$P\$14$	Não-associação	417033,3333
	\$N\$15	2	104631	$\$N\$15 \leq \$P\$15$	Não-associação	225369
	\$N\$16	3	516596,9695	$\$N\$16 \leq \$P\$16$	Não-associação	143403,0305
	\$N\$17	4	157595,1333	$\$N\$17 \leq \$P\$17$	Não-associação	1659604,867
	\$N\$18	5	33569,61667	$\$N\$18 \leq \$P\$18$	Não-associação	65430,38333
	\$N\$19	6	1285789,769	$\$N\$19 \leq \$P\$19$	Não-associação	1336610,231
MP b. água	\$N\$20	7	31295,01991	$\$N\$20 \leq \$P\$20$	Não-associação	1704,980094
	\$N\$21	8	735000	$\$N\$21 \leq \$P\$21$	Associação	0
	\$N\$22	9	105000	$\$N\$22 \leq \$P\$22$	Associação	0
	\$N\$23	10	26820,47933	$\$N\$23 \leq \$P\$23$	Não-associação	14279,52067
MP b. solv.	\$N\$24	11	1007,0885	$\$N\$24 \leq \$P\$24$	Não-associação	92,9115
	\$N\$25	12	15980	$\$N\$25 \leq \$P\$25$	Associação	0
	\$N\$26	13	3672,578	$\$N\$26 \leq \$P\$26$	Não-associação	3037,422
	\$N\$27	14	12909,95017	$\$N\$27 \leq \$P\$27$	Não-associação	5310,049833
Demanda média	\$N\$28	15	75728,33333	$\$N\$28 \geq \$P\$28$	Associação	0
	\$N\$29	16	27321,86667	$\$N\$29 \geq \$P\$29$	Associação	0
	\$N\$30	17	54544,93333	$\$N\$30 \geq \$P\$30$	Associação	0
	\$N\$31	18	29122,41667	$\$N\$31 \geq \$P\$31$	Não-associação	1440,283333
	\$N\$32	19	4447,2	$\$N\$32 \geq \$P\$32$	Associação	0
	\$N\$33	20	2237,866667	$\$N\$33 \geq \$P\$33$	Associação	0
	\$N\$34	21	71844,56627	$\$N\$34 \geq \$P\$34$	Não-associação	24761,39961
	\$N\$35	22	102393,1333	$\$N\$35 \geq \$P\$35$	Associação	0
	\$N\$36	23	444752,4032	$\$N\$36 \geq \$P\$36$	Não-associação	115594,7032
	\$N\$37	24	256127,7778	$\$N\$37 \geq \$P\$37$	Associação	0
	\$N\$38	25	81727,7778	$\$N\$38 \geq \$P\$38$	Associação	0
\$N\$39	26	169111,1111	$\$N\$39 \geq \$P\$39$	Associação	0	

Nesta parte do relatório de respostas, visualiza-se os valores resultantes de cada restrição, dados os valores atribuídos as variáveis. A margem de atraso indica a distância destes valores dos valores que limitam as restrições.

A coluna status indica associação ou não associação da restrição limitante do problema. As restrições que são diferentes de zero na margem de atraso, não associadas, há folga, ou seja, é possível concluir que há capacidade disponível para produzir mais que o indicado. Já as restrições associadas possuem margem de atraso igual a zero, não há folga, então, considera-se uma restrição limitante.

Tendo analisado as informações contidas no Relatório de Respostas, passou-se a análise do Relatório de Sensibilidade que pode ser observado na Figura 5.

Células Variáveis						
Célula	Nome	Final Valor	Reduzido Custo	Objetivo Coeficiente	Permitido Aumentar	Permitido Reduzir
\$B\$3	Quantidade ótima l1	75728,33333	0	2,82	2,504828395	1E+30
\$C\$3	Quantidade ótima l2	27321,86667	0	2,353333333	0,873814815	1E+30
\$D\$3	Quantidade ótima l3	54544,93333	0	2,442222222	0,436091564	1E+30
\$E\$3	Quantidade ótima s1	29122,41667	0	5,15	1E+30	0,360666667
\$F\$3	Quantidade ótima s2	4447,2	0	4,49	0,338125	1E+30
\$G\$3	Quantidade ótima c1	2237,866667	0	2,29	1,256769547	1E+30
\$H\$3	Quantidade ótima c2	71844,56627	0	1,672	0,3155	0,104227273
\$I\$3	Quantidade ótima c3	102393,1333	0	0,92	0,365773045	1E+30
\$J\$3	Quantidade ótima c4	444752,4032	0	0,3975	0,292331724	0,0631
\$K\$3	Quantidade ótima r1	256127,7778	0	0,9264	0,686555864	1E+30
\$L\$3	Quantidade ótima r2	81727,77778	0	1,56	0,106157407	1E+30
\$M\$3	Quantidade ótima r3	169111,1111	0	1,032	0,82318107	1E+30

Restrições							
Célula	Nome	Final Valor	Sombra Preço	Restrição Lateral R.H.	Permitido Aumentar	Permitido Reduzir	
Capacidade	\$N\$14	1	506966,6667	0	924000	1E+30	417033,3333
	\$N\$15	2	104631	0	330000	1E+30	225369
	\$N\$16	3	516596,9695	0	660000	1E+30	143403,0305
	\$N\$17	4	157595,1333	0	1817200	1E+30	1659604,867
	\$N\$18	5	33569,61667	0	99000	1E+30	65430,38333
	\$N\$19	6	1285789,769	0	2622400	1E+30	1336610,231
MP.b. água	\$N\$20	7	31295,01991	0	33000	1E+30	1704,980094
	\$N\$21	8	735000	0,116851852	735000	66855,77894	62421,13973
	\$N\$22	9	105000	17,73384774	105000	8642,927039	1796,125404
	\$N\$23	10	26820,47933	0	41100	1E+30	14279,52067
MP.b. solv.	\$N\$24	11	1007,0885	0	1100	1E+30	92,9115
	\$N\$25	12	15980	10,72916667	15980	1486,584	691,336
	\$N\$26	13	3672,578	0	6710	1E+30	3037,422
	\$N\$27	14	12909,95017	0	18220	1E+30	5310,049833
Demanda média	\$N\$28	15	75728,33333	-2,504828395	75728,33333	6008,608053	29351,6331
	\$N\$29	16	27321,86667	-0,873814815	27321,86667	10446,21546	27321,86667
	\$N\$30	17	54544,93333	-0,436091564	54544,93333	11926,69991	54544,93333
	\$N\$31	18	29122,41667	0	27682,13333	1440,283333	1E+30
	\$N\$32	19	4447,2	-0,338125	4447,2	1536,302222	4447,2
	\$N\$33	20	2237,866667	-1,256769547	2237,866667	8980,627022	2237,866667
	\$N\$34	21	71844,56627	0	47083,16667	24761,39961	1E+30
	\$N\$35	22	102393,1333	-0,365773045	102393,1333	30040,04046	102393,1333
	\$N\$36	23	444752,4032	0	329157,7	115594,7032	1E+30
	\$N\$37	24	256127,7778	-0,686555864	256127,7778	25340,15626	155082,049
	\$N\$38	25	81727,77778	-0,106157407	81727,77778	24311,19234	81727,77778
	\$N\$39	26	169111,1111	-0,82318107	169111,1111	22121,39744	133003,5741

Figura 5 – Relatório de Sensibilidade

Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

Na primeira parte deste relatório, observa-se informações referentes as células variáveis. Na coluna “Final Valor” é novamente apresentado o valor obtido como

resultado para cada variável.

Na coluna “Reduzido Custo”, são apresentados valores entendidos como um custo de oportunidade que representam o quanto se está deixando de ganhar por desprezar determinada alternativa, ou seja, o impacto negativo na margem de ganho por produzir um produto em detrimento de outro. Quando os valores obtidos nessa coluna são zero, como neste caso, pode-se entender que as variáveis fazem parte da solução ótima (SOARES; NAGANO; RIBEIRO, 2007).

Em seguida, é apresentado o valor do coeficiente de cada variável na função objetivo, na coluna “Objetivo Coeficiente” e a variação permitida para este valor sem que haja alteração na solução ótima obtida, ou seja, sem que os valores obtidos para as variáveis sejam alterados (LONGARAY, 2013).

Na segunda parte deste relatório, são apresentadas informações referentes as restrições do modelo. Na coluna “Final Valor” é apresentado o valor total obtido para cada restrição com os valores obtidos para as variáveis. Os valores dados nas colunas “Permitido Aumentar” e “Permitido Reduzir” são os valores que se pode somar e subtrair ao valor limite da restrição sem que a solução ótima seja alterada (LONGARAY, 2013).

A coluna “Preço Sombra”, por sua vez, apresenta qual seria o acréscimo no lucro por cada unidade de recurso adicional. As primeiras restrições tratam das restrições de capacidade e, como apresentado anteriormente, ainda há capacidade disponível para aumento da produção, portanto, não há ganhos ao aumentar esse recurso, logo, o preço sombra para estas restrições é igual a zero. As oito restrições seguintes tratam da disponibilidade de matérias-primas, nestes casos, é possível observar que para as matérias-primas que apresentam sobras, o preço sombra obtido é nulo, pois, não há ganhos ao aumentar estes recursos, porém para os materiais sendo consumidos em totalidade, o preço sombra é diferente de zero.

Os recursos que apresentam preço sombra diferente de zero, são os recursos limitantes da produção, logo, um aumento na disponibilidade destes poderia melhorar os resultados da empresa. As restrições seguintes tratam do atendimento da demanda mínima estipulada através da média de vendas dos produtos. O preço sombra para muitas destas restrições é negativo, pois o acréscimo de uma unidade para estas pode comprometer a produção de outro produto com maior margem de lucro.

Por fim, analisou-se o Relatório de Limites, que pode ser observado na Figura 6.

Objetivo		
Célula	Nome	Valor
\$B\$9	Max Z	1516544,9

Variável			Inferior Objeto	Superior Objeto
Célula	Nome	Valor	Limite Resultado	Limite Resultado
\$B\$3	Quantidade ótima l1	75728,333	75728,3 1516544,9	75728,3 1516544,9
\$C\$3	Quantidade ótima l2	27321,867	27321,9 1516544,9	27321,9 1516544,9
\$D\$3	Quantidade ótima l3	54544,933	54544,9 1516544,9	54544,9 1516544,9
\$E\$3	Quantidade ótima s1	29122,417	27682,1 1509127,5	29122,4 1516544,9
\$F\$3	Quantidade ótima s2	4447,2	4447,2 1516544,9	4447,2 1516544,9
\$G\$3	Quantidade ótima c1	2237,8667	2237,87 1516544,9	2237,87 1516544,9
\$H\$3	Quantidade ótima c2	71844,566	47083,2 1475143,9	71844,6 1516544,9
\$I\$3	Quantidade ótima c3	102393,13	102393 1516544,9	102393 1516544,9
\$J\$3	Quantidade ótima c4	444752,4	329158 1470596,1	444752 1516544,9
\$K\$3	Quantidade ótima r1	256127,78	256128 1516544,9	256128 1516544,9
\$L\$3	Quantidade ótima r2	81727,778	81727,8 1516544,9	81727,8 1516544,9
\$M\$3	Quantidade ótima r3	169111,11	169111 1516544,9	169111 1516544,9

Figura 6 – Relatório de Limites

Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

A primeira parte do relatório de limites apresenta, mais uma vez, o valor ótimo obtido para a função objetivo. Na segunda parte, pode-se observar a quantidade atribuída a cada variável na coluna “Valor”. As colunas “Inferior Limite” e “Objetivo Resultado” apresentam a quantidade mínima possível para as variáveis, no caso, o valor estipulado como demanda mínima, e o resultado da função objetivo caso fossem produzidas essas quantidades. As colunas “Superior Limite” e “Objetivo Resultado” apresentam a quantidade máxima possível para as variáveis, no caso as variáveis resultantes do modelo, e o resultado da função objetivo caso fossem produzidas essas quantidades.

Por exemplo, no caso do produto c2 (massa pva), o valor “Inferior Limite” é 47.083,2 quilogramas, o valor estipulado como demanda mínima para este produto, para este valor o resultado da função objetivo seria R\$ 1.475.143,9, enquanto o valor “Superior Limite” é 71.844,6, o valor apontado pelo modelo, para este valor o resultado da função objetivo seria o mesmo apontado pelo modelo R\$ 1.516.544,95.

#### 4.2 Sugestões de melhoria

Após obter as quantidades ótimas que representam o *mix* de produção que proporciona o maior lucro para a indústria, é possível planejar alocação da produção de acordo com as capacidades das linhas de produção existentes.

<b>Produto</b>	<b>Quantidade produzida mensalmente (kg)</b>	<b>Linhas de produção</b>	<b>Capacidade máxima mensal (kg)</b>
Revestimento	506.966,67	1, 2, 3,4 ,10 e 11	924.000
Linha látex	157.595,13	6, 8 e 9	1.038.400
Complementos	621.227.27 (516.596,97 kg referentes às massas de acrílica e pva)	5 e 7	Linha 5 – 330.000 Linha 7 – 330.000
Base solvente	33.569,62	12	99.000

Quadro 9 - Alocação da produção nas linhas

Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

Percebe-se que em todos os casos há uma grande quantidade de capacidade excedente, porém é possível perceber que, para fins de cálculo, considerou-se que as quantidades de todas as ordens de produção seriam iguais às capacidades máximas dos tachos, o que na prática raramente acontece. Isso indica que existe a possibilidade de atender pedidos com quantidades menores que as capacidades máximas dos tachos.

É importante que os pedidos sejam planejados com antecedência para que lotes do mesmo produto sejam agrupados e realizados juntos em um tacho com alta capacidade. Além disso, é importante planejar as ordens de modo que as cores claras sejam executadas nos mesmos tachos e as cores mais fortes sejam feitas dos tons mais claros aos mais escuros para que não haja necessidade de limpeza dos tachos entre ordens.

Em relação à restrição de espaço, sugere-se que seja feito um estudo do layout do espaço dedicado ao estoque de matérias-primas e que este seja alterado de modo a se tornar mais organizado e possibilitar a armazenagem de uma quantidade maior de materiais, aumentando esta restrição de compras.

Quanto aos processos de produção em si, percebeu-se que algumas das atividades realizadas em sequência poderiam ser realizadas simultaneamente, como acontece com a separação das matérias-primas líquidas e minerais. Sugere-se que seja feita uma reorganização dos processos para que estas atividades passem a ser realizadas simultaneamente e, com isso, o tempo de produção seja reduzido. Propôs-se também a realização de um estudo de tempos e movimentos, após o qual sugere-se a replicação deste trabalho, considerando os tempos obtidos para a produção e o tempo disponível, bem como o treinamento dos funcionários para que estes entendam os movimentos a serem realizados e conheçam mais sobre os produtos que fabricam.

Antes de realizar as alterações na programação da produção para atender os resultados obtidos neste trabalho, é preciso garantir que os produtos serão efetivamente vendidos e não ficarão parados em estoque. Para que isso aconteça, sugere-se que sejam elaboradas novas estratégias comerciais pelo setor de vendas, com foco especial nos produtos que passarão a ser produzidos em maior quantidade

fazendo com que estes se destaquem em relação a seus concorrentes.

## 5 | CONCLUSÃO

O presente trabalho realizou um modelo de otimização para encontrar um *mix* ótimo de produção em uma indústria de tintas e revestimentos. O objetivo geral do trabalho foi alcançado, uma vez que com o modelo foi possível sugerir um aumento de 7% nos lucros totais e em 12% na média de vendas mensais. Por meio de uma análise de sensibilidade, foi possível concluir que os resultados encontrados foram robustos e satisfatórios.

A aplicação da PL beneficiou a empresa ao apresentar informações referentes a sua realidade que possibilitam entender melhor suas restrições e elaborar planos de ação que otimizem seus resultados.

As limitações desse trabalho se deram devido a impossibilidade de realizar um levantamento de dados mais preciso, sendo adotados valores aproximados informados pela empresa.

A contribuição deste trabalho está na possibilidade de replicação do modelo elaborado em outras indústrias do setor analisado com características similares, bem como em seu uso para simulações de diferentes cenários, ou mesmo seu uso como base para o desenvolvimento de outros modelos matemáticos que considerem outros dados.

Para trabalhos futuros, sugere-se a realização a aplicação de um novo modelo de decisão que contemple outras variáveis da organização, com o objetivo de comparar os resultados apresentados neste trabalho, como o uso da programação inteira para a programação da produção.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, E. L. **Introdução à pesquisa operacional**: métodos e modelos para análise de decisões. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. **Pesquisa operacional para cursos de engenharia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à pesquisa operacional**. 8. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

LACHTERMACHER, G. **Pesquisa operacional na tomada de decisões**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

LOESCH, C.; HEIN, N. **Pesquisa operacional**: fundamentos e modelos. São Paulo: Saraiva, 2009.

LONGARAY, A. A. **Introdução à pesquisa operacional**. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2013.

MARINS, F. A. S. **Introdução à pesquisa operacional**. São Paulo: Cultura acadêmica, 2011.

PINTO, L. L.; MENEZES, M. A. F. Implementação de algoritmos simplex e pontos interiores para programação linear. **Revista Estudos**, Goiânia, v. 35, n. 2, p. 225-246, mar./abr. 2008.

SOARES, M. A.; NAGANO, M. S.; RIBEIRO, E. M. S. Utilização da programação linear no ensino da contabilidade de custos: uma comparação com as práticas tradicionais. **XIV Congresso Brasileiro de Custos** – João Pessoa, 2007.

TAHA, H. A. **Pesquisa operacional**. 8<sup>a</sup> ed. São Paulo: Pearson, 2008.

## **SOBRE O ORGANIZADOR**

**MARCOS WILLIAM KASPCHAK MACHADO** Professor na Unopar de Ponta Grossa (Paraná). Graduado em Administração- Habilitação Comércio Exterior pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Especializado em Gestão industrial na linha de pesquisa em Produção e Manutenção. Doutorando e Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, com linha de pesquisa em Redes de Empresas e Engenharia Organizacional. Possui experiência na área de Administração de Projetos e análise de custos em empresas da região de Ponta Grossa (Paraná). Fundador e consultor da MWM Soluções 3D, especializado na elaboração de estudos de viabilidade de projetos e inovação.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-253-1

