

# APLICAÇÃO DA PESQUISA OPERACIONAL NA BUSCA DA SOLUÇÃO ÓTIMA DE PRODUÇÃO EM UMA MÁQUINA INJETORA

Cláudio Gilberto Dias Borges Júnior (FAI)

claudio\_borgesjr@hotmail.com

Gabriel Balbino Pedroso (FAI)

bielpedroso2@hotmail.com

Juliana Helena Daroz Gaudêncio (FAI)

julianagaudencio@fai-mg.br

## Resumo

Considerando o contexto de otimização de processos produtivos, esta pesquisa analisa o processo de injeção plástica de uma indústria fabricante de sensores e equipamentos de instrumentação localizada na região sul do estado de Minas Gerais. Desse modo, o presente trabalho teve como objetivo analisar e propor um modelo de programação linear que otimize o tempo de operação da máquina de modo que seja fornecida a quantidade ótima de cada matéria-prima processada. Para isto, foram utilizadas técnicas de Pesquisa Operacional e dados também foram coletados acerca da demanda e das quantidades das principais matérias-primas utilizadas na injeção plástica que servem de base para a confecção dos sensores e dos equipamentos de instrumentação. O Scilab foi o software científico utilizado para solucionar o modelo matemático proposto em busca da quantidade ótima de matérias-primas processadas na injetora. Desse modo, o resultado proporcionará um melhor direcionamento da empresa a cerca de quais matérias-primas e as suas respectivas quantidades que aperfeiçoarão o tempo de utilização da máquina.

**Palavras-Chaves:** Otimização, Máquina Injetora, Pesquisa Operacional.

## 1. Introdução

Ao longo da história as organizações passaram por diversas modificações, principalmente em tamanho e complexidade das relações inter-organizacionais. De acordo com Hillier e Liberman (2006), o aumento da especialização e da divisão do trabalho trouxe vários benefícios às organizações, mas tornou-se difícil a alocação de recursos para as demais atividades como um todo, criando então um ambiente propício para a criação da Pesquisa Operacional.

A pesquisa operacional utiliza-se de várias ferramentas para determinar ou aproximar-se de uma solução ótima de um problema. É possível encontrar uma ou diversas soluções ótimas que podem maximizar ou minimizar algo, como por exemplo lucro ou custo.

O objetivo geral desse artigo é aplicar em uma empresa de sensores e alarmes da cidade de Santa Rita do Sapucaí – MG, os métodos da pesquisa operacional, de modo que permita encontrar uma solução ótima que otimize a produção de uma máquina injetora da linha 651 da empresa.

O objetivo específico busca modelar o problema usando a programação linear e resolvê-lo com o auxílio de um software de modelagem chamado Scilab focando em minimizar o custo de produção na fabricação

## **2. Referencial teórico**

Neste capítulo será abordado todos os tópicos para a realização deste trabalho assim como seus conceitos e aplicações.

### **2.1. Pesquisa Operacional**

Conforme Chaves (2011) não é possível identificar o contexto histórico da Pesquisa Operacional (PO), contudo ao analisar suas aparições, podemos encontrar evidências desde a época de Arquimedes. Mas a partir da Revolução Industrial que surgiram os primeiros problemas a serem solucionados por PO.

O termo pesquisa operacional surgiu na Segunda Guerra Mundial quando o comando militar britânico e norte-americano convocou inúmeros cientistas para aplicar a abordagem científica para resolver problemas táticos e estratégicos (HILLIER; LIBERMAN, 2006).

Colin (2007) afirma que a pesquisa operacional e a programação linear foram importantes descobertas, equiparando-se até a máquina a vapor. E também que a PO em conjunto com a microinformática possibilitou a implementação e processamento de algoritmo capazes de solucionar problemas de alta complexidade relacionados a tomada de decisões empresariais.

Segundo Arenales (2006), a pesquisa operacional é muito utilizada na tomada de decisões, a fim de determinar o problema, analisar as limitações a fim de obter-se uma solução ótima, coerente e estruturada para o problema. A tomada de decisão é um processo complexo devido existirem diversos fatores interligados, como o ambiente, incertezas, qualidade final e o próprio mercado.

## 2.2. Programação Linear

A Programação Linear (PL) é um dos métodos mais utilizados da PO. Sua aplicação está presente em várias áreas tais como finanças, produção, logística, entre outras.

Conforme Belfiore e Fávero (2013), um problema de Programação Linear (PPL) tem como objetivo determinar uma solução ótima que maximize ou minimize a função objetivo, satisfazendo todas as restrições do modelo, representada matematicamente por:

$$\text{Máx. ou Min: } f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Sujeito às restrições;

$$g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) (\leq, =, \geq) b_1$$

$$g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) (\leq, =, \geq) b_2$$

...

$$g_m(x_1, x_2, \dots, x_n) (\leq, =, \geq) b_n$$

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

A função objetivo determina a capacidade do modelo de aumentar lucros ou reduzir custos, e as restrições garantem que a (s) solução (ões) esteja (m) de acordo com as limitações técnicas ligadas ao problema.

## 2.3. Processo de Injeção Plástica

A moldagem por injeção é o mais comum dos processos utilizados na fabricação de termoplásticos. Seu objetivo final é derreter o polímero e esculpi-lo de acordo com o molde e a finalidade do material (TINO, 2005).

O processo inicia-se com o aquecimento dos chamados grânulos de plástico, que são derretidos a uma temperatura elevada, não ultrapassando 270°C (Innova). Este processo ocorre com o auxílio do cilindro de uma máquina injetora, de modo que o plástico adquirido é mesclado com os corantes determinados, em uma área da máquina conhecida como canhão.

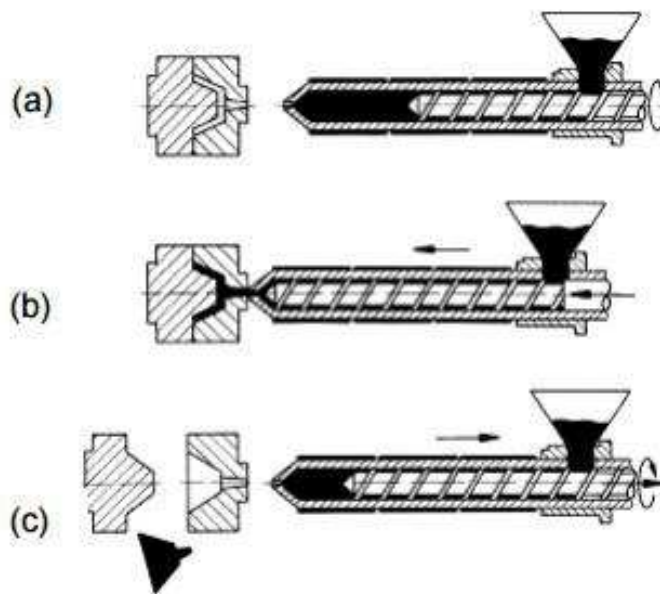
O processo de injeção pode ser descrito como a realização de um esforço geralmente hidráulico em um êmbolo para que o material plástico aquecido se desloque como pode ser observado na Figura 1-a.

Por meio de uma passagem (bico injetor) o material plástico desloca-se para dentro de um molde (Figura 1-b), preenchendo assim as cavidades, permanecendo certo tempo, a fim de

diminuir sua temperatura, para se estabilizar, voltando então ao estágio inicial, sendo extraído do molde, como na Figura 1-c.

Todo este processo pode ser classificado como sendo cíclico, em que se alternam etapas em uma sequência programada (BLASS, 1988 apud Pastorelli e Sacchelli, 2012).

Figura 1 - Representação do ciclo de Injeção (a) Aquecimento do material, (b) Preenchimento das cavidades e (c) Desmoldagem



Fonte: Segundo Michaeli e Potsch, 1995 apud Pastorelli e Sacchelli (2012).

Um dos inconvenientes da moldagem por injeção é a grande quantidade de material descartado após a retirada da peça injetada, sob a forma de galhos e varas por onde havia passado o plástico fundido. Esses resíduos, após a fragmentação em moinhos apropriados, são normalmente reutilizados. Esse inconveniente é eliminado com a utilização de moldes com canal quente, que são empregados somente em casos especiais devido ao seu custo elevado.

### 3. Metodologia de Pesquisa

Há vários tipos de pesquisas e elas podem ser classificadas quanto a sua abordagem, natureza, objetivos e procedimentos (Silveira e Córdova, 2009). Em relação à abordagem esse trabalho classifica-se como uma pesquisa quantitativa visto que há o uso de funções para a modelagem de dados quantitativos recorrendo à linguagem matemática para descrever as causas de um processo e as relações entre variáveis envolvidas.

Sob o ponto de vista da natureza, essa pesquisa pode ser classificada como aplicada uma vez que objetiva gerar conhecimento para fins práticos. Assim, a pesquisa visa o aperfeiçoamento de questões práticas e atende aos interesses industriais de avanço na redução dos custos e a comunidade acadêmica na promoção de melhorias contínuas nos processos através de novos métodos e estudos.

Quanto à ótica dos objetivos, a pesquisa classifica-se como de classe axiomática normativa, pois utiliza o modelo matemático criado com o propósito de otimizá-lo por meio da pesquisa operacional. De acordo com Bertrand e Fransoo (2002), a pesquisa normativa está interessada na melhoria dos resultados disponíveis na literatura, buscando a determinação de uma solução ótima diante de definições de novos problemas.

Por fim, sob a ótica dos procedimentos, essa pesquisa se enquadra no método de pesquisa denominado ‘modelagem e simulação’ uma vez que os dados analisados serão modelados e otimizados por meio de procedimentos matemáticos.

#### **4. Desenvolvimento da Pesquisa**

Neste capítulo será apresentado todas as etapas que foram realizadas para solucionar o problema apresentado pela empresa.

##### **4.1. Coleta de dados**

Para a coleta de dados foi realizado um levantamento na linha de produção aonde é realizado o processo de injeção plástica. Esta linha é responsável por fazer todas as peças de injeção que são utilizadas em outros processos da empresa objeto de estudo. Os dados consistem em quantidade de quilogramas de polímeros que cada produto utiliza na sua composição e, assim como, a quantidade mínima e máxima desses polímeros. Também foi recolhida a quantidade mínima e máxima que a empresa precisa de cada produto.

Ao todo, foram registradas 176 variáveis e mais de 200 restrições que variam de combinações de produtos e seus determinados polímeros até quantidade mínima e máxima em estoque. As variáveis de decisão são os produtos fabricados na linha de produção que utilizam polímeros em sua fabricação. Foi levado em consideração os custos de manufatura e a quantidade de polímeros utilizada.

Desse modo, foram coletados cerca de cinquenta polímeros diferentes com as suas respectivas quantidades existentes em cada produto fabricado no processo de manufatura.

Tabela 1 - Componente x Custo

Componente	Custo	Componente	Custo	Componente	Custo	Componente	Custo
7200000422	R\$ 0,55	7200000572	R\$ 0,91	72032012	R\$ 1,59	7200000168	R\$ 2,64
7200000533	R\$ 0,35	7200000577	R\$ 1,98	7200000630	R\$ 6,40	72032038	R\$ 0,52
72007019	R\$ 0,15	7200000310	R\$ 0,73	7200000584	R\$ 1,27	72030074	R\$ 3,86
7200000423	R\$ 0,54	72030080	R\$ 3,08	7200000428	R\$ 0,30	72032060	R\$ 1,54
72007016	R\$ 0,17	7200000575	R\$ 7,50	7200000631	R\$ 3,74	7200000135	R\$ 1,09
7200000265	R\$ 2,96	72032001	R\$ 1,25	72032033	R\$ 0,68	72032053	R\$ 1,12
7200000421	R\$ 0,37	7200000611	R\$ 9,19	7200000147	R\$ 1,43	72030057	R\$ 3,52
7200000589	R\$ 0,50	7200000494	R\$ 0,44	72007022	R\$ 0,82	7200000311	R\$ 1,34
72007002	R\$ 0,17	7200000586	R\$ 3,18	7200000229	R\$ 0,55	72030071	R\$ 2,57
7200000534	R\$ 0,40	72032037	R\$ 0,54	72032068	R\$ 1,41	7200000182	R\$ 0,34
7200000219	R\$ 0,35	72030060	R\$ 3,29	7200000620	R\$ 5,17	7200000612	R\$ 4,50
7200000253	R\$ 0,41	7200000574	R\$ 1,67	7200000083	R\$ 2,96	7200000645	R\$ 8,89
7200000303	R\$ 3,39	7200000061	R\$ 0,60	7200000071	R\$ 0,71	7200000134	R\$ 1,50
72007020	R\$ 0,45	7200000497	R\$ 1,03	72030073	R\$ 3,37	7200000531	R\$ 2,73
7200000146	R\$ 1,21	72030059	R\$ 3,29	7200000361	R\$ 0,75	7200000305	R\$ 6,46
7200000192	R\$ 1,73	72030003	R\$ 3,39	7200000164	R\$ 1,06	7200000077	R\$ 1,04
7200000223	R\$ 3,30	7200000578	R\$ 1,07	7200000165	R\$ 2,43	72030072	R\$ 3,14
7200000191	R\$ 0,67	7200000013	R\$ 3,03	7200000543	R\$ 0,60	7200000325	R\$ 0,16
7200000194	R\$ 0,72	7200000304	R\$ 5,27	7200000092	R\$ 4,36	7200000347	R\$
							679,97
7200000269	R\$ 0,55	72033003	R\$ 1,04	7200000430	R\$ 4,64	7200000266	R\$ 4,11
72040001	R\$ 0,57	7200000519	R\$ 5,53	7200000371	R\$ 1,52	7200000346	R\$ 1,43
72032055	R\$ 0,43	7200000213	R\$ 1,17	7200000646	R\$ 4,85	7200000241	R\$ 2,62
7200000149	R\$ 0,68	7200000545	R\$ 2,27	7200000653	R\$ 6,03	7200000498	R\$ 0,70
7200000390	R\$ 4,70	7200000153	R\$ 1,09	72030077	R\$ 3,04	7200000053	R\$ 1,49
72007004	R\$ 0,49	7200000493	R\$ 12,91	7200000138	R\$ 2,97	7200000067	R\$ 2,08
7200000222	R\$ 2,89	7200000588	R\$ 2,61	7200000070	R\$ 0,68	7200000104	R\$ 1,71
72033004	R\$ 1,01	72032002	R\$ 1,88	7200000119	R\$ 1,41	7200000154	R\$ 1,67
72007017	R\$ 0,77	7200000170	R\$ 2,88	7200000105	R\$ 3,89	7200000163	R\$ 1,59
72007006	R\$ 0,60	7200000600	R\$ 3,62	7200000544	R\$ 0,50	7200000166	R\$ 1,01
7200000252	R\$ 0,75	72030002	R\$ 3,17	7200000532	R\$ 1,75	7200000183	R\$ 2,21
72007003	R\$ 0,42	7200000632	R\$ 0,84	72037001	R\$ 1,89	7200000209	R\$ 1,22
72033002	R\$ 1,10	72030001	R\$ 3,37	7200000492	R\$ 13,81	7200000280	R\$ 0,00
7200000256	R\$ 3,88	72032059	R\$ 0,77	72007005	R\$ 0,38	7200000360	R\$ 1,57
7200000579	R\$ 1,05	72030081	R\$ 2,98	72036001	R\$ 1,69	7200000387	R\$ 2,65
7200000150	R\$ 1,20	7200000342	R\$ 5,31	7200000136	R\$ 1,26	7200000391	R\$ 5,23
7200000576	R\$ 0,71	72032065	R\$ 0,69	72030076	R\$ 3,93	72007025	R\$ 0,00
72007001	R\$ 0,34	72032032	R\$ 0,66	72032035	R\$ 1,24	72030058	R\$ 3,03
72032034	R\$ 0,57	7200000558	R\$ 8,56	7200000155	R\$ 1,52	7200000159	R\$ 0,96
72030004	R\$ 3,80	7200000585	R\$ 1,03	7200000054	R\$ 1,44	7200000373	R\$ 2,04
7200000573	R\$ 1,05	7200000148	R\$ 0,58	7200000336	R\$ 2,78	7200000639	R\$ 0,00
7200000157	R\$ 0,85	7200000169	R\$ 2,40	7200000137	R\$ 3,70	7200000649	R\$ 0,00
72032003	R\$ 1,60	72033001	R\$ 1,03	72032049	R\$ 1,32	7200000660	R\$ 0,00
7200000087	R\$ 0,44	7200000228	R\$ 0,63	7200000167	R\$ 1,29	7200000662	R\$ 0,00
7200000520	R\$ 7,12	7200000288	R\$ 1,25	7200000141	R\$ 1,56	7200000661	R\$ 0,00

#### 4.2. Modelagem do problema

Neste capítulo será detalhado a modelagem matemática utilizada para solucionar o problema proposto pela empresa objeto de estudo.

#### 4.2.1. Variáveis de decisão

As variáveis de decisão deste problema são definidas como sendo a quantidade ideal a ser processada de cada um dos produtos na máquina de injeção plástica conforme a representação a seguir:

$$x_i = \text{quantidade ideal do polímero } y_a \text{ a ser processado no produto } n_b$$

Sendo  $i = 0, 1, 2, \dots, 176$ ;  $a = 0, 1, 2, \dots, 58$ ; e  $b = 0, 1, 2, \dots, 176$

#### 4.2.2. Função objetivo

Para solucionar o problema apresentado pela empresa, a modelagem foca em minimizar o custo de produção no processamento dos polímeros por injeção plástica. A equação de minimização é o somatório dos componentes versus o custo de fabricação ( $c_i$ ) conforme representada abaixo.

$$\sum_{i=1}^n x_i \cdot c_i \quad (1)$$

#### 4.2.3. Restrições

Para as restrições, foram levantadas a quantidade máxima e mínima em estoque de cada polímero e a quantidade que cada produto leva em sua composição.

A função das restrições de quantidade na composição é representada por:

$$\sum_{i=1}^n a_m \cdot b_m \quad (2)$$

Sendo  $a$  a quantidade do polímero em questão utilizado no produto,  $b$  os produtos fabricados pela empresa e  $m = 0, 1, 2, \dots, 176$ .

As restrições também contam com o número mínimo de produtos que a empresa vende por mês e, sendo que, o somatório de todos os produtos não pode ultrapassar a capacidade de produção da empresa.

$$P_i \leq V_i \quad (3)$$

Sendo  $P$  o produto em questão;  $V$  as vendas mínimas desse produto por mês; e  $i = 0, 1, 2, \dots, 176$ .

#### 4.2.4. Restrições adicionais

Todas as variáveis de decisão do problema são positivas ou iguais a zero.

#### 4.2.5. Processamento do resultado

A modelagem do problema proposto foi processada com a ajuda do software Scilab que é um software livre e de código aberto para computação numérica o qual fornece um poderoso ambiente de computação para aplicações de engenharia. O software Scilab foi escolhido em relação ao Solver da Microsoft Excel devido a sua capacidade de processamento. A função realizada para resolver a modelagem foi a karmarkar uma vez que resolve problemas de otimização lineares.

Para resolver este problema foram criadas quatro matrizes necessárias para a função karmarkar, sendo a matriz  $c$  representada pelo custo de manufatura dos produtos, matriz  $b$  representa a igualdade da Equação 2, matriz  $lb$  representa a igualdade da Equação 3 e a matriz  $A$  que representa a matriz de coeficientes. A função utilizada possui a seguinte sintaxe:

$$[xopt,fopt,exitflag,iter,yopt]=karmarkar(c,A,b,lb) \quad (4)$$

A sintaxe desta função é dada por  $xopt$  sendo a matriz de solução (os valores das variáveis de decisão),  $fopt$  é o valor da função objetivo,  $exitflag$  é o status de execução da função deixando um desvio padrão de aproximação,  $inter$  é o número de interações entre as matrizes e  $yopt$  é a sintaxe utilizada para diferenciar as matrizes com a igualdade de menor igual e maior igual.

#### 4.3. Apresentação dos resultados

O resultado da modelagem matemática do problema satisfaz as restrições e soluciona o problema da empresa, diminuindo o custo de manufatura e priorizando os produtos a serem fabricados. A Tabela 2 ilustra a quantidade de componentes ideais a serem utilizados no processo de fabricação objeto de estudo.

Tabela 2 - Componente x Quantidade pós análise

Componente	Nº	Componente	Nº	Componente	Nº	Componente	Nº
7200000422	946	7200000572	27	72032012	24	7200000168	0
7200000533	858	7200000577	18	7200000630	27	72032038	1
72007019	446	7200000310	60	7200000584	60	72030074	0
7200000423	720	72030080	55	7200000428	0	72032060	1
72007016	475	7200000575	27	7200000631	27	7200000135	1
7200000265	0	72032001	52	72032033	14	72032053	2
7200000421	509	7200000611	0	7200000147	12	72030057	1
7200000589	0	7200000494	12	72007022	3	7200000311	1
72007002	547	7200000586	27	7200000229	5	72030071	1



7200000534	758	72032037	49	72032068	12	7200000182	1
7200000219	281	72030060	60	7200000620	0	7200000612	0
7200000253	258	7200000574	27	7200000083	5	7200000645	0
7200000303	481	7200000061	56	7200000071	3	7200000134	1
72007020	527	7200000497	22	72030073	2	7200000531	0
7200000146	313	72030059	48	7200000361	0	7200000305	1
7200000192	179	72030003	42	7200000164	0	7200000077	0
7200000223	291	7200000578	43	7200000165	0	72030072	0
7200000191	267	7200000013	37	7200000543	0	7200000325	0
7200000194	267	7200000304	44	7200000092	6	7200000347	0
7200000269	0	72033003	36	7200000430	2	7200000266	0
72040001	257	7200000519	200	7200000371	0	7200000346	0
72032055	257	7200000213	34	7200000646	0	7200000241	0
7200000149	233	7200000545	51	7200000653	2	7200000498	0
7200000390	225	7200000153	35	72030077	3	7200000053	0
72007004	108	7200000493	15	7200000138	0	7200000067	0
7200000222	85	7200000588	27	7200000070	2	7200000104	0
72033004	311	72032002	29	7200000119	2	7200000154	0
72007017	137	7200000170	46	7200000105	5	7200000163	0
72007006	145	7200000600	0	7200000544	0	7200000166	0
7200000252	37	72030002	50	7200000532	0	7200000183	0
72007003	150	7200000632	27	72037001	2	7200000209	0
72033002	112	72030001	29	7200000492	0	7200000280	0
7200000256	59	72032059	23	72007005	2	7200000360	0
7200000579	34	72030081	35	72036001	2	7200000387	5
7200000150	108	7200000342	20	7200000136	2	7200000391	0
7200000576	94	72032065	28	72030076	2	72007025	0
72007001	83	72032032	18	72032035	1	72030058	0
72032034	96	7200000558	0	7200000155	1	7200000159	0
72030004	122	7200000585	60	7200000054	2	7200000373	0
7200000573	44	7200000148	19	7200000336	0	7200000639	0
7200000157	72	7200000169	35	7200000137	2	7200000649	1
72032003	123	72033001	24	72032049	2	7200000660	94
7200000087	21	7200000228	33	7200000167	0	7200000662	195
7200000520	275	7200000288	5	7200000141	3	7200000661	1

Com os resultados obtidos, foi calculada a função objetivo deste modelo. A função objetivo é calculada com o custo de manufatura apresentado na Tabela 1 multiplicado pela quantidade apresentada na Tabela 2. Desse modo, chega-se ao resultado de, aproximadamente, R\$ 16.000,00 que representa o menor custo de produção da empresa levando em consideração a disponibilidade dos polímeros e as vendas mínimas de cada produto.

## 5. Considerações Finais

A elaboração deste trabalho ressaltou a importância de uma boa coleta de dados para modelar corretamente o processo produtivo estudado. Os dados devem corresponder às expectativas e demonstrar a realidade do processo por meio de um modelo matemático. As restrições servem para refinamento do modelo.

A modelagem feita neste trabalho demonstra uma solução viável para o problema da empresa objeto de estudo, enfatizando os produtos que representam o menor custo de fabricação em

relação a sua importância na participação do lucro final da empresa. O modelo elaborado levou, também, em consideração a participação da matéria prima de polímeros que apresentava problemas de colorização e de estocagem limitada.

Desse modo, o presente trabalho obteve resultados das quantidades ideais de processamento dos polímeros na máquina de injeção plástica que almejam o custo mínimo de produção nesta etapa. Como sugestão para trabalhos futuros, sugere-se que esses valores sejam validados na produção e, conseqüentemente, viabilizá-los por meio da elaboração de novas restrições que por ventura não tenham sido consideradas nesta etapa inicial.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio concedido a esta pesquisa.

### **REFERÊNCIAS**

- ARENALES, M. N.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R. **Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro: Campus, 2006.
- BELFIORE, Patrícia; FÁVERO, Luiz Paulo. **Pesquisa Operacional para cursos de Engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.
- BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 241-264, 2002.
- CHAVES, Viviane H. Corrêa. **Perspectivas históricas da pesquisa operacional**. 2011. 117p. Dissertação (Mestrado em Educação Matemática) – Programa de Pós-Graduação. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2011.
- COLIN, Emerson C. **Pesquisa Operacional: 170 Aplicações em Estratégia, Finanças, Logística, Produção, Marketing e Vendas**. Rio de Janeiro: LTC, 2007.
- INNOVA. **Manual de Injeção**.
- HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J. **Introdução à pesquisa operacional**. 8 ed. São Paulo: McGraw Hill, 2006.
- PASTORELLI, Pedro Palma. SACCHELLI, Carlos Mauricio. **Estudo preliminar do projeto de canais de alimentação em moldes de termoplásticos**. Bento Gonçalves. RS, Brasil, 2012.
- SILVEIRA, D. T.; CORDOVA, F. P. **A pesquisa científica**. In: GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. (org.). Métodos de Pesquisa. Porto Alegre: Editora de UFRGS, 2009. p. 31-42.
- TINO, Vicente Fernandes. **Utilização de análise de componentes principais na regulação de máquinas de injeção plástica**. Rio de Janeiro, 2005. Brasil.