

Problema Integrado de Sequenciamento da Produção e Dimensionamento de Lotes em um Processo de Injeção de Termoplásticos

Camila Aroeira Silva

Daniela Aroeira Pacheco

Joaquim José da Cunha Jr.

Centro Universitário de Belo Horizonte, UniBH

Av. Professor Mário Werneck, 1685, CEP 30575-180, Belo Horizonte, MG, Brasil

camilaaroeira.ep@gmail.com, danielapacheco.ep@gmail.com,
joaquim.jose@prof.unibh.br

RESUMO

O presente estudo identifica quais são as principais características e oportunidades de melhoria no processo de injeção de termoplásticos, utiliza a pesquisa operacional como ferramenta de suporte a decisão através da criação de uma formulação matemática realística e experimenta a formulação matemática computacionalmente avaliando os seus resultados em comparação com os resultados verificados na prática, sendo capaz de trazer melhorias ao processo de injeção plástica e à produtividade desta empresa, que está inserida em um mercado cada vez mais exigente e mais competitivo.

PALAVRAS-CHAVE: Otimização de processos industriais. Sequenciamento, Dimensionamento de lotes.

ABSTRACT

The present study identifies the main characteristics and opportunities for improvement in the thermoplastic injection process, uses operational research as a decision support tool through the creation of a realistic mathematical formulation and experiments the mathematical formulation computationally evaluating its results in comparison with the results verified in practice, being able to bring improvements to the plastic injection process and the productivity of this company, which is inserted in an increasingly demanding and more competitive market.

KEYWORDS: Optimization of industrial processes. Scheduling, Lot sizing.

1 INTRODUÇÃO

A demanda por bens de consumo que acompanha o crescimento populacional, traz consigo a necessidade de aumento de produção, o que reflete em criação de novas indústrias e crescimento das já existentes. No âmbito da manufatura do produto, existem diversas oportunidades a serem exploradas para se manter competitivo no mercado. Dentro desta área, as fábricas estão explorando com mais frequência sua capacidade instalada através do incremento na diversificação do mix de produtos, além de buscar diferenciais competitivos, obtidos por meio de melhorias no processo produtivo (LUIZ, 2012).

Quesitos como qualidade, confiabilidade do produto, flexibilidade e rapidez no atendimento às demandas do mercado são considerados necessários para o sucesso empresarial. De forma a atender tais quesitos, as empresas estabelecem processos de reestruturação interna e externa, tendo como forte inspiração a filosofia de organização da produção: a produção enxuta (LIMA, 2003).

Em empresas onde a capacidade produtiva é menor que a demanda prevista, é preciso definir estratégias de sequenciamento de produção e dimensionamento de lotes de maneira a reduzir os custos incorridos, na medida em que produtos são atrasados ou estoques são gerados (LUIZ, 2012).

A atividade de Programação e Controle da Produção desempenha um papel de extrema importância, uma vez que as decisões tomadas em relação à ordem em que os produtos devem ser fabricados, respeitando prioridades e restrições do processo, impactam nos prazos de entrega do produto e também nos custos. Com isso, exige-se cada vez mais a utilização de ferramentas para poder montar um cronograma de produção de forma mais rápida e assertiva, já que provisionar a mais gera estoques e eleva os custos (GALVÃO, 2007).

O trabalho em questão foi realizado em uma empresa fabricante de eletrodomésticos de grande porte localizada em Belo Horizonte. Atualmente essa empresa está instalada em um parque industrial de 40 mil metros quadrados, com capacidade de produção e venda de mais de dez mil produtos por dia. O processo produtivo abordado refere-se à injeção de termoplásticos cujo setor representa o de maior impacto para a produtividade da empresa. Sobre esta perspectiva, o estudo justifica-se pela importância de um planejamento e controle da produção adequado, uma vez que, a empresa está inserida em um mercado cada vez mais exigente e mais competitivo.



Figura 1 - Injetoras - Setor de termoplásticos

Os objetivos deste estudo foram: *(i)* identificar quais são as principais características e oportunidades de melhoria no processo de injeção de termoplásticos, *(ii)* utilizar a pesquisa operacional como ferramenta de suporte a decisão através da criação de uma formulação matemática realística; *(iii)* experimentar a formulação matemática computacionalmente avaliando os seus resultados em comparação com os resultados verificados na prática.

Após essa introdução, um breve exame da literatura de Sequenciamento da Produção e Dimensionamento de Lotes aplicáveis ao estudo é apresentado na Seção 2. A Seção 3 apresenta as etapas envolvidas no desenvolvimento do trabalho com atenção especial para a coleta de informações no chão de fábrica e o modelo de programação linear inteira mista proposto. Os

experimentos computacionais com instâncias obtidas através de dados reais são apresentados na Seção 4. Por fim, na Seção 5, as conclusões e proposições para trabalhos futuros são apresentadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

Estudos feitos por Molina *et al.* (2013) demonstram que um planejamento eficiente é composto por um conjunto de atividades bem realizadas, que vão do atendimento à demanda, disponibilidade de insumos, tempo disponível para produção até as preparações de máquinas. Todos esses fatores influenciam no desempenho do plano de produção e nos custos. De acordo com Fernandes e Santoro (2005) os problemas que envolvem o Planejamento e Controle da Produção (PCP) das empresas podem ser resolvidos de três formas distintas. A primeira delas é considerando apenas o dimensionamento dos lotes de produção como foco de atuação, a segunda considerando apenas o sequenciamento da produção e a terceira considerando o dimensionamento integrado com sequenciamento. Molina *et al.* (2013) citam que as decisões tomadas diante de análises feitas de forma integrada são as mais qualificadas e que obtêm melhores resultados, principalmente se tratando da integração do problema de dimensionamento de lotes com outros problemas do setor produtivo.

Tendo em vista a busca contínua das indústrias pelo aumento de eficiência da produção, a aplicação de ferramentas e técnicas se faz cada vez mais essencial. De acordo com Singh e Khanduja (2009 apud LUIZ, 2012), uma das técnicas mais efetivas para atingir o aumento da eficiência é a redução de *setups*, ou seja, redução do tempo de preparação das máquinas.

O *setup* é uma atividade de preparação da máquina que ocorre antes de iniciar a produção de qualquer produto. Segundo Henry (2002 apud LUIZ, 2012), é definido pelo processo completo de conversão de uma máquina ou de uma linha, da fabricação de um produto para outro. Diversos autores da área citam o *setup* como uma prática sem nenhum valor agregado e portanto, deve-se buscar a máxima redução possível. Conforme Cakmakci (2009 apud LUIZ, 2012) afirma, quanto maior a redução de *setups*, maior a eficiência da máquina na possibilidade de produção de lotes menores.

2.1.1 DIMENSIONAMENTO DE LOTES (LOT SIZING)

Com o objetivo de manter a competitividade e cumprir as necessidades de uma programação produtiva inteligente, cria-se também a técnica de dimensionamento de lote. A técnica de dimensionamento de lotes consiste em determinar, de acordo com a capacidade produtiva e com a demanda, quanto produzir de cada produto e permite atingir soluções que proporcionam reduções do tempo de ciclo e menor ociosidade dos equipamentos, visando muitas vezes a redução de custos (TOSO, 2005; MONTEVECHI, 2002).

Basicamente, a escolha do tamanho de um lote possui impacto em dois custos: estoques e *setup*. É interessante notar que a produção de lotes maiores tende a reduzir os custos associados às atividades de *setup*, uma vez que um volume maior de produtos será produzido sem que haja necessidade da realização de várias atividades de preparação de máquina. Por outro lado, a escolha de produzir lotes maiores, embora reduza a necessidade de atividades de *setup*, tem impacto negativo nos custos de estoque. Isso ocorre porque, em geral, a demanda de um horizonte maior de tempo é aglutinada para formar um lote maior o que gera estoque de produtos até a chegada do prazo de entrega desses itens.

2.1.2 SEQUENCIAMENTO DA PRODUÇÃO (SCHEDULING)

Segundo Cunha Júnior e Souza (2010) os problemas de Sequenciamento da Produção vêm sendo amplamente abordados na literatura, principalmente com o incremento de tecnologia nos equipamentos de produção (máquinas com comando numérico computadorizado, por exemplo).

De acordo com Alves *et al.* (2016), os modelos matemáticos de sequenciamento tem como finalidade atingir o objetivo pré-estabelecido de produção, definindo a ordem de produção dos bens, alocando tarefas e recursos escassos e diminuindo os tempos de preparação com menos trocas de moldes, que segundo TOSO (2005) e MONTEVECHI (2002) afetam a capacidade produtiva.

Basicamente, um conjunto de tarefas precisam ser realizadas com objetivo de atender a demanda da maneira mais econômica possível. A antecipação na produção envolve a criação de estoques e, conseqüentemente, os custos associados a tal prática. Por outro lado, o atraso na produção gera custos de atraso e seus desdobramentos como desgaste da imagem e reputação das empresas, redução no nível de serviço percebido pelos clientes e abertura de oportunidade para concorrentes.

A definição da sequência de produção tem impacto direto na eficiência do processo produtivo, pois, impacta no volume de tempo empregado em atividades de *setup*.

3 DESENVOLVIMENTO

Inicialmente foi realizada uma entrevista com o gestor e equipe do setor de injeção plástica, a fim de identificar as principais características do processo produtivo e as oportunidades de melhoria. O principal resultado foi o apontamento da dificuldade em realizar a programação de produção das injetoras, principalmente quanto ao dimensionamento dos lotes e o sequenciamento da produção.

Após este contato inicial foi feito uma coleta de dados da demanda semanal, da produção por máquina por semana, tempo e número de *setups*, tempo de ciclo de injeção e a capacidade dos moldes quanto ao número de cavidades.

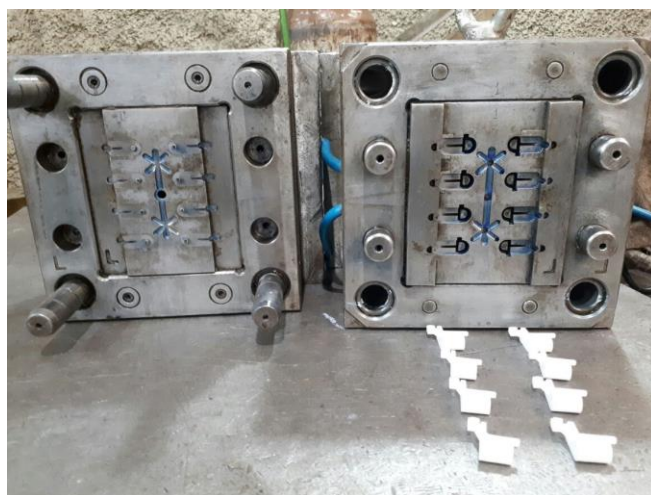


Figura 2 - Molde para injeção plástica - seis cavidades

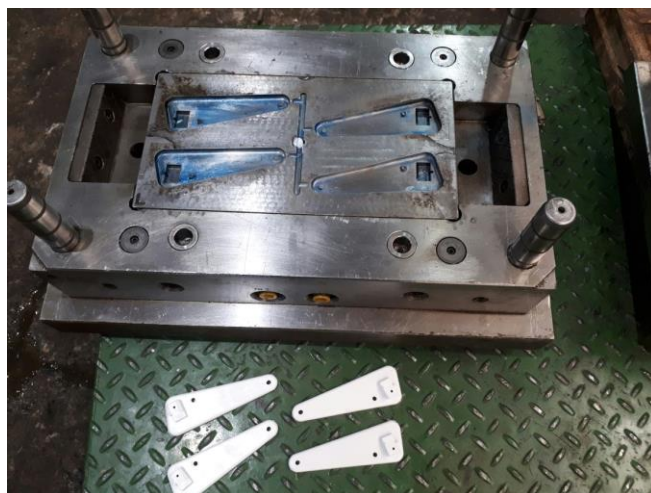


Figura 3 - Molde para injeção plástica - quatro cavidades

Ao iniciar a pesquisa aplicada verificou-se que o processo de injeção plástica atende à três linhas de montagem simultaneamente e que possuem variações de tempo para injeção de cada família de produtos. Como resultado dessa grande variação sem a devida programação, observa-se um número elevado de *setups*, perda de tempo e produtividade com atrasos na produção das peças para montagem dos produtos acabados ou geração de estoques.



Figura 4 - Realização de *setup*

As demandas de cada item são disponibilizadas no sistema integrado de gestão da empresa. O responsável pelo planejamento e controle da produção verifica os pedidos em aberto e determina quanto produzir de cada produto/família de produtos diariamente.

Neste processo, o gestor considerou que as incertezas em relação à demanda são relativamente grandes e encontra a necessidade de programar a produção a cada semana, conforme a demanda prevista para este intervalo de tempo, buscando não acumular estoques de períodos anteriores e evitando o atraso da produção.

Ao analisar as ferramentas que a equipe de PCP utiliza para realizar a programação de produção das injetoras, foi visualizada uma planilha que mostra a capacidade produtiva em relação à previsão da demanda. Além disso, a ferramenta relaciona a quantidade de moldes a serem injetados durante o mês e considerando a operação de cada máquina por dezoito horas por dia, de acordo com a quantidade a ser produzida e o ciclo em que cada molde trabalha. Neste momento foi apontado pela equipe a dificuldade em realizar o rodízio das quarenta e quatro peças nas seis máquinas injetoras disponíveis, visto que, estas possuem suas especificidades quanto a injeção, em relação ao tamanho da máquina para comportar cada molde para injeção das peças.

Após conhecimento da previsão de demanda mensal, da quantidade e especificidade dos produtos a serem montados semanalmente e das principais dificuldades da programação da produção, foram coletados dados de agosto e setembro das seis máquinas injetoras, quando foram apresentados em planilhas quais moldes foram injetados em cada mês, quantos ciclos do produto cada injetora realizou e quantas vezes foram necessárias realizar *setup* para o atendimento da demanda.

3.1 MODELAGEM MATEMÁTICA

Para resolver o problema integrado de sequenciamento e dimensionamento de lotes foi desenvolvido um modelo de programação linear inteira mista baseado no modelo aplicado por Cunha Júnior, Souza e Yanasse (2011).

O sequenciamento foi feito por semana, a fim de saber a sequência de produção de cada máquina em cada semana. As principais informações necessárias para a tomada de decisão foram tratadas como parâmetros de entrada dessa formulação e as respostas necessárias como variáveis.

Foi considerado J os *jobs* (moldes injetados) a serem sequenciados em M máquinas injetoras dentro de um horizonte de W semanas, compostas por T períodos. A divisão das semanas em períodos foi feita de forma que esses períodos identifiquem a ordem de *jobs* na semana; ou seja, se um *job* for injetado na posição $t = 3$, esse então é o terceiro *job* injetado pela máquina na semana. Foi considerado o parâmetro C_{jm} uma matriz binária que informa se o *job* j pode ser produzido na máquina m ($C_{jm} = 1$); o parâmetro D_{jw} representa a demanda do *job* J na semana w ; o parâmetro K representa a capacidade produtiva (em minutos) de cada máquina por semana; o parâmetro S representa o tempo de *setup* sempre que há mudança de molde, independente da máquina; o parâmetro P_j representa o tempo de produção de um *job* qualquer em qualquer máquina; o parâmetro I_j representa o peso de estoque do *job* j por uma semana; o parâmetro B_j representa o peso de atraso do *job* j por uma semana e o parâmetro BM representa um número suficientemente grande (M -Grande).

O modelo possui as variáveis $x_{t,w}^{j,m}$ que indica a quantidade do *job* j produzido na máquina m no período t da semana w . As variáveis binárias $y_{t,w}^{j,m}$ indicam (com valores iguais a 1) se o *job* j estavam sendo produzido na máquina m no período t da semana w (e com valores iguais a zero, caso contrário). As variáveis IS_w^j indicam o estoque inicial do *job* j na semana w . As variáveis FS_w^j indicam o estoque final do *job* j na semana w . As variáveis A_w^j indicam o volume em atraso do *job* j na semana w .

Foi proposto um modelo de programação linear inteira mista que objetiva minimizar os volumes de peças em estoque e em atraso ponderando pelo seu nível de criticidade, sendo 3 o nível mais crítico e 1 o nível menos crítico.

$$\text{Minimizar Custo} = \sum_{j=1}^J \sum_{w=1}^W \left(\frac{FS_w^j + IS_w^j}{2} \right) \times I^j + \sum_{j=1}^J \sum_{w=1}^W A_w^j \times B^j \quad (1)$$

Sujeito a:

$$y_{t,w}^{j,m} \times C_{jm} \times BM \geq x_{t,w}^{j,m} \quad \forall j = 1 \dots J, m = 1 \dots M, t = 1 \dots T, w = 1 \dots W \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^J y_{t,w}^{j,m} \leq 1 \quad \forall m = 1 \dots M, t = 1 \dots T, w = 1 \dots W \quad (3)$$

$$\sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T x_{t,w}^{j,m} + IS_w^j - D_w^j = FS_w^j - A_w^j \quad \forall j = 1 \dots J, w = 1 \dots W \quad (4)$$

$$IS_{w+1}^j = FS_w^j \quad \forall j = 1 \dots J, w = 1 \dots (W - 1) \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T x_{t,w}^{j,m} \times P + \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T y_{t,w}^{j,m} \times S \leq K \quad \forall m = 1 \dots M, w = 1 \dots W \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^J y_{t,w}^{j,m} \geq \sum_{j=1}^J y_{t+1,w}^{j,m} \quad \forall m = 1 \dots M, t = 1 \dots (T - 1), w = 1 \dots W \quad (7)$$

$$A_w^j \geq 0 \quad \forall j = 1 \dots J, w = 1 \dots W \quad (8)$$

$$IS_w^j \geq 0 \quad \forall j = 1 \dots J, w = 1 \dots W \quad (9)$$

$$FS_w^j \geq 0 \quad \forall j = 1 \dots J, w = 1 \dots W \quad (10)$$

$$x_{t,w}^{j,m} \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall j = 1 \dots J, m = 1 \dots M, t = 1 \dots T, w = 1 \dots W \quad (11)$$

$$y_{t,w}^{j,m} \in \{0,1\} \quad \forall j = 1 \dots J, m = 1 \dots M, t = 1 \dots T, w = 1 \dots W \quad (12)$$

A função objetivo do modelo, apresentada na equação (1), é composta por dois termos, relativos ao somatório dos custos com estoque e com atraso.

As restrições (2) garantem que a variável y deve ser igual a 1 para que alguma quantidade de j seja planejada para ser produzida na máquina m , no instante t , da semana w ; assim como a constante C_{jm} que também deve ser igual a 1 se tal job pode ser executado em tal máquina ou ser igual zero no caso contrário.

As restrições (3) garantem que cada máquina m , em cada período t , de cada semana w pode executar, no máximo um $job j$.

As restrições (4) garantem que a cada semana w , para cada $job j$, o total de itens produzidos em todos os instantes t e em todas as máquinas m , somado ao estoque inicial daquele $job j$, naquela semana w , menos a demanda do $job j$, deve ser igual ao estoque final daquela semana w , menos a quantidade em atraso do $job j$ na semana w .

As restrições (5) garantem que o estoque inicial do $job j$ na semana $w+1$ deve ser igual ao estoque final da semana w .

As restrições (6) garantem que o tempo total gasto na produção dos $jobs$ somado ao total de setups realizados multiplicado pelo tempo de setup S , seja menor ou igual a capacidade produtiva K (em força de trabalho) a cada semana w .

As restrições (7) garantem que só é possível alocar uma atividade no instante de tempo $t+1$ de uma semana w caso algum item tenha sido produzido no instante t de uma mesma semana. Isso evita múltiplas soluções simétricas.

As restrições (8), (9), (10), (11) e (12) apresentam os limites das variáveis do modelo.

4 EXPERIMENTOS COMPUTACIONAIS

Experimentos computacionais foram realizados para avaliar a aderência do modelo ao contexto real e o desempenho da sua solução frente ao sequenciamento realizado na prática. O modelo foi implementado utilizando a linguagem *AMPL* e resolvido com o *solver* CPLEX 11.1.1 em um computador Intel® Core™ i7-3630QM CPU @ 2,40GHz com 8,00 GB de memória RAM e com sistema operacional Windows 10 de 60 bits. Dados reais de 8 semanas de sequenciamento da produção durante os meses de agosto e setembro de 2017 foram levantados e tabulados com o objetivo de verificar o volume de itens em atraso e em estoque. Esses dados foram divididos em 5 instâncias variando a quantidade de semanas. Essas instâncias foram denominadas w1a4, w1a5, w1a6, w1a7 e w1a8 e contém os dados relativos aos processamentos ocorridos da semana um a quatro, um a cinco, um a seis, um a sete e um a oito, respectivamente. Em todas as cinco instâncias, a quantidade de máquinas e *jobs* não variam sendo que apenas o horizonte de planejamento muda de uma pra outra partindo de 4 até 8 semanas, o que é muito razoável num contexto prático de planejamento da produção.

Instância	Prática		
	Atraso	Estoque	Total
w1a4	399326	178767	578093
w1a5	551247	206547	757794
w1a6	643494	241808	885302
w1a7	746292	280314	1026606
w1a8	870004	332278	1202282

Tabela 1 – Características da solução empregada na prática

Instância	Otimizado			Ganho
	Atraso	Estoque	Total	
w1a4	95897	178954	274851	52,5%
w1a5	128652	208859	337511	55,5%
w1a6	169172	230597	399769	54,8%
w1a7	201526	260508	462034	55,0%
w1a8	238547	285740	524287	56,4%

Tabela 2 – Características da solução obtida a partir do modelo de otimização.

A Tabela 1 apresenta as características da solução verificada na prática. A primeira coluna apresenta o nome da instância, a coluna Atraso apresenta o resultado do somatório dos volumes de Jobs atrasados multiplicados pelo peso atribuído ao seu atraso (variando de um a três). A terceira coluna, Estoque, apresenta a soma do volume total de cada *job* em estoque multiplicado pelo peso atribuído ao estoque de cada item (também variando de 1 a 3). A quarta coluna apresenta a soma dos valores atribuídos ao atraso e estoque em cada instância.

A Tabela 2, por sua vez, apresenta as características das soluções obtidas através da implementação do modelo de otimização. Analogamente a Tabela 1, os valores de atraso, estoque e os totais são apresentados nas colunas seguintes. A coluna Ganho apresenta os valores percentuais de redução nos totais obtidos com a formulação em comparação aos totais calculados para a prática.

A Figura 6 apresenta um gráfico que sintetiza os resultados. É possível verificar que, para todas as instâncias, os valores totais (atrasos somados aos estoques) obtidos com a implementação da formulação são, pelo menos, 52% menores que os totais calculados para a prática. Aparentemente, o desempenho do modelo melhora com o aumento do horizonte de planejamento da instância, embora o volume de testes realizados não seja conclusivo.

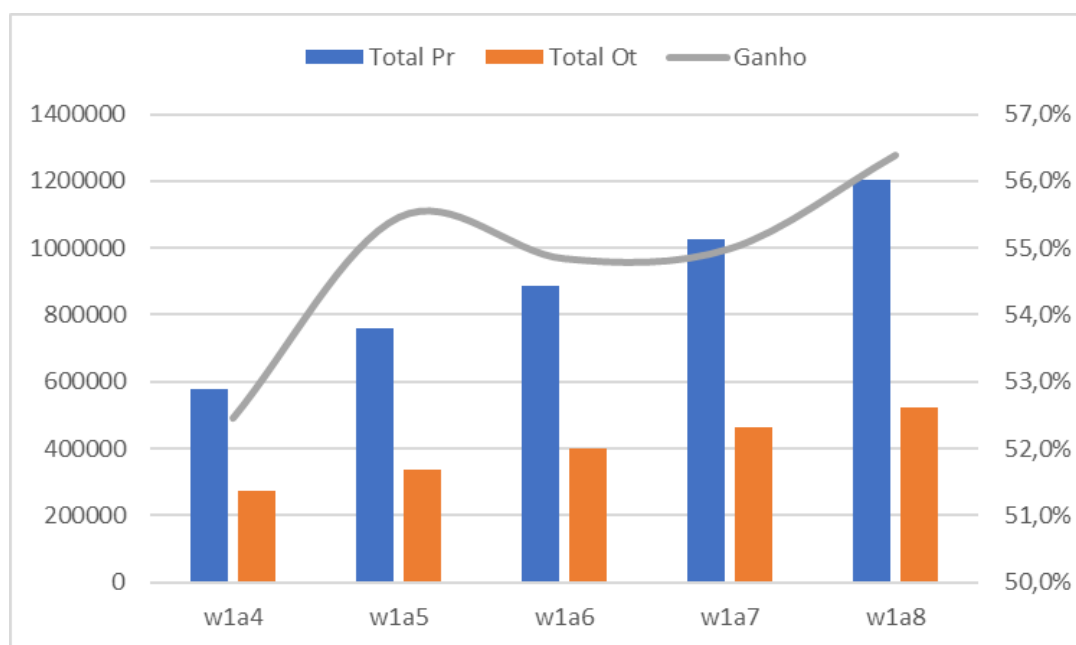


Figura 6 – Gráfico comparativo entre os totais (atrasos + estoques) calculados para a solução prática e a solução obtida com o modelo de otimização.

Em todos os testes, o desempenho da formulação, sob a ótica do custo computacional, foi bastante satisfatório. O tempo médio para o alcance da solução ótima foi de 527 segundos sendo que a solução mais rápida foi obtida com 92 segundos e a solução mais demorada demandou 740 segundos. Para todas as instâncias, em menos de 10 segundos, a formulação apresenta uma solução inteira com um *GAP* de otimalidade de 0,01%. O restante do tempo é empregado pelo solver para melhorar o limitante inferior e comprovar que a solução é ótima. Esse é um dado muito relevante

considerando a presença de variáveis binárias e inteiras no modelo além da utilização do M-Grande, o que sugeriria uma implementação computacional muito dispendiosa.

Esse desempenho computacional pode ser explicado pelos bons *GAPs* de relaxação linear apresentados pela formulação com as instâncias testadas. Para calcular esses *GAPs* as variáveis inteiras e binárias foram relaxadas e as soluções ótimas foram calculadas e depois comparadas com as soluções obtidas com a formulação inteira. A Tabela 3 apresenta os valores das soluções ótimas inteiras (coluna Sol. Int.), relaxadas (coluna Sol. R. L.) e os *GAPs* de relaxação linear (coluna *GAP* R.L.).

Instância	Sol. Int.	Sol. R. L.	<i>GAP</i> R.L.
w1a4	274851	274758	0,03%
w1a5	337511	337399	0,03%
w1a6	399769	399640	0,03%
w1a7	462034	461881	0,03%
w1a8	524287	524122	0,03%

Tabela 3 – Soluções inteiras, Soluções Relaxadas e *GAPs* de Relaxação Linear por instância.

É interessante notar que, em todos os casos, os *GAPs* de relaxação linear foram da ordem de 0,03% o que fortalece a aplicabilidade da formulação no contexto prático com custos computacionais aceitáveis.

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O emprego de técnicas de pesquisa operacional pode trazer melhorias expressivas aos processos. A utilização de uma formulação matemática como método de suporte a decisão pode melhorar não apenas a qualidade das soluções obtidas, mas, também, o próprio processo decisório, que pode ser mais ágil e assertivo.

Neste trabalho, a observação de um processo produtivo sob o prisma das competências da Engenharia de Produção, permitiu a identificação de importantes oportunidades de melhoria de produtividade.

O modelo de programação linear inteira mista desenvolvido para solucionar o problema apresentou resultados surpreendentes, principalmente considerando os ganhos apresentados em comparação com as soluções aplicadas na prática.

Os custos computacionais apresentados também são muito encorajadores. Na prática, planejar um horizonte de 8 semanas é muito razoável e o tempo computacional demandado para resolver instâncias desse porte foi sempre inferior a 10 segundos.

Futuramente para reforçar as conclusões preliminares obtidas a partir dos experimentos computacionais realizados, sugere-se o levantamento de um volume maior de dados no contexto prático, seu tratamento e implementação de novos experimentos computacionais com objetivo de validar o desempenho computacional da formulação e sua capacidade de fornecer soluções de boa qualidade.

Cabe ressaltar que, por indisponibilidade de informações, os custos associados aos atrasos e estoques não foram mapeados em unidades monetárias. Esse é um tema oportuno para trabalhos futuros.

Além disso, como proposta para continuidade dos trabalhos, os *jobs* poderiam ser agrupados em famílias de forma que o atraso em determinado *job* de uma família específica acarretaria a uma penalidade referente a todos os *jobs* que a compõem.

6 REFERÊNCIAS

ALVES, Fernanda de Freitas *et al.* Integrated lot sizing and production scheduling formulations: an application in a refractory cement industry. **Gestão e Produção**, São Carlos, v. 23, n. 1, p. 204-218, 2016.

CUNHA JÚNIOR, Joaquim José da; SOUZA, Mauricio Cardoso de. **Sequenciamento de tarefas em máquina de manufatura flexível para reduzir custos com horas extras e atrasos de entregas**. Anais do XLII SBPO – Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, p. 1201-1212, 2010.

CUNHA JÚNIOR, Joaquim José da; SOUZA, Mauricio Cardoso de; YANASSE, Horacio Hideki. **Scheduling jobs on a flexible machine to minimize overtime and weighted tardiness costs**. International Conference on Industrial Engineering and Systems Management, IESM, 2011.

FERNANDES, Flavio Cesar Faria.; SANTORO, Miguel Cezar. Avaliação do grau de prioridade e do foco do planejamento e controle da produção (PCP): modelos e estudos de casos. **Gestão e Produção**, v.12, n. 1, p. 25-38, 2005.

GALVÃO, Frederico Martins. **Aplicação de um modelo de seqüenciamento da produção para um setor de moldagem de artefatos plásticos**. Monografia submetida à coordenação de curso de engenharia de produção da Universidade Federal de Juiz de Fora como parte dos requisitos necessários para a graduação em engenharia produção - Universidade Federal de Juiz de Fora, Departamento de Engenharia de Produção, 2007.

LIMA, Maria Letícia Sousa Correia. A produção enxuta como fator diferencial na capacidade de fornecimento de PMEs. **Revista Produção**. v. 3, n. 2, 2003.

LUIZ, Rodrigo Marcus Dias Luiz. **Programação de produção levando em conta máquinas em paralelo e set-up dependente da sequência de produção**. Dissertação de Mestrado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2012.

MOLINA, Flavio; MORABITO, Reinaldo; ARAUJO, Silvio Alexandre de. Modelos matemáticos para problemas de dimensionamento de lotes com restrições de capacidade e custos de transporte. **Gestão e Produção**, São Carlos, v. 20, n. 3, p. 573-586, 2013 .

MONTEVECHI, José Arnaldo *et al.* Análise comparativa entre regras heurísticas de sequenciamento da produção aplicada em job shop. **Produto e Produção**, v. 6, n. 2, p. 12-18, 2002.

TOSO, Eli Angela Vitor; MORABITO, Reinaldo. Otimização no dimensionamento e sequenciamento de lotes de produção: estudo de caso numa fábrica de rações. **Gestão e Produção**, v. 12, n. 2, p. 203-217, 2005.