

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SARAH VITORINO ESTEVAM DIAS

OTIMIZAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO DE PRODUÇÃO EM AMBIENTE JOB SHOP
ATRAVÉS DA MINIMIZAÇÃO DO MAKESPAN: UM ESTUDO DE CASO EM UMA
INDÚSTRIA DE COSMÉTICOS

CURITIBA
2015

SARAH VITORINO ESTEVAM DIAS

OTIMIZAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO DE PRODUÇÃO EM AMBIENTE JOB SHOP
ATRAVÉS DA MINIMIZAÇÃO DO MAKESPAN: UM ESTUDO DE CASO EM UMA
INDÚSTRIA DE COSMÉTICOS

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Engenharia de Produção, turma 2014, da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau de Especialista em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof^o. Dr^o. Cassius Tadeu Scarpin

CURITIBA
2015

Otimização da programação de produção em ambiente *job shop* através da minimização do *makespan*: um estudo de caso em uma indústria de cosméticos

Sarah Vitorino Estevam Dias (UFPR) - sarahvedias@gmail.com
Cassius Tadeu Scarpin (UFPR) - cassiusts@gmail.com

Resumo

Um problema de programação de produção em ambiente *job shop* é caracterizado pelo processamento de n tarefas em m máquinas. Cada tarefa possui um roteiro envolvendo a sequência das máquinas e seu tempo de processamento em cada uma delas. Neste trabalho foi realizado o estudo de caso de uma indústria de cosméticos, mais especificamente, na sua seção de acabamento, a qual é definida por este tipo de cenário. Nesta seção, cada produto (tarefa) pode seguir por roteiros distintos os quais dependem das características finais de embalagem. Deste modo, o sequenciamento da produção não é trivial. Visto este problema, este artigo elaborou o sequenciamento da produção, tendo como objetivo a minimização do *makespan*, ou seja, obter o menor tempo de processamento de todas as tarefas. Para isso, foi utilizado um modelo exato o qual foi implementado e otimizado empregando o *software Lingo*. O resultado obtido atingiu o objetivo proposto ao definir o menor *makespan*, o que corresponde ao ponto ótimo global. A partir disto foi elaborado o sequenciamento das tarefas nas máquinas, dispostos no Gráfico de Gantt, o que possibilitou a sugestão de melhorias para linha, evidenciando também a aplicação deste modelo para demais produtos.

Palavras-chave: Programação da Produção em *Job shop*, Sequenciamento, Minimização do *Makespan*.

Abstract

A job shop scheduling is characterized by processing n jobs through m machines. Each job has an itinerary that determines the machines sequence and his processing times in each one of them. In this work was carried out a case study on a cosmetics industry, more specifically, in its finishing section, which is defined by this kind of scenery. In this section, each product (job) can follow different itineraries depending on the final packing characteristics. Therefore, the production sequencing is not trivial. Considering this problem, the objective of this study was to develop a production sequencing aiming the makespan minimization, in other words, to get the less processing time of all jobs. For this, was utilized an exact model which was implemented and optimized using the *Lingo* software. The result reached the objective proposed setting the less makespan correspondent to the global optimum. From this was elaborated the jobs sequencing at the machines, presented on the Gantt Chart, which made possible the suggestions of improvements for the line, and also demonstrate the applications of this model to others products.

Keywords: Job Shop Scheduling, Sequencing, Makespan Minimization.

1. Introdução

A indústria de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos nacional é um dos setores que vem na contramão do cenário econômico brasileiro atual. Segundo a ABIHPEC (Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos), nos últimos 19 anos este setor apresentou crescimento médio de 9,2% ao ano, tendo passado de R\$ 4,9 bilhões em 1996 para R\$ 43,2 bilhões em 2014 (FIGURA 1). Este resultado evidencia o crescimento significativamente maior comparado com o desempenho do PIB Total do país, de 2,8%a.a. e da Indústria em Geral, de 1,9%a.a.

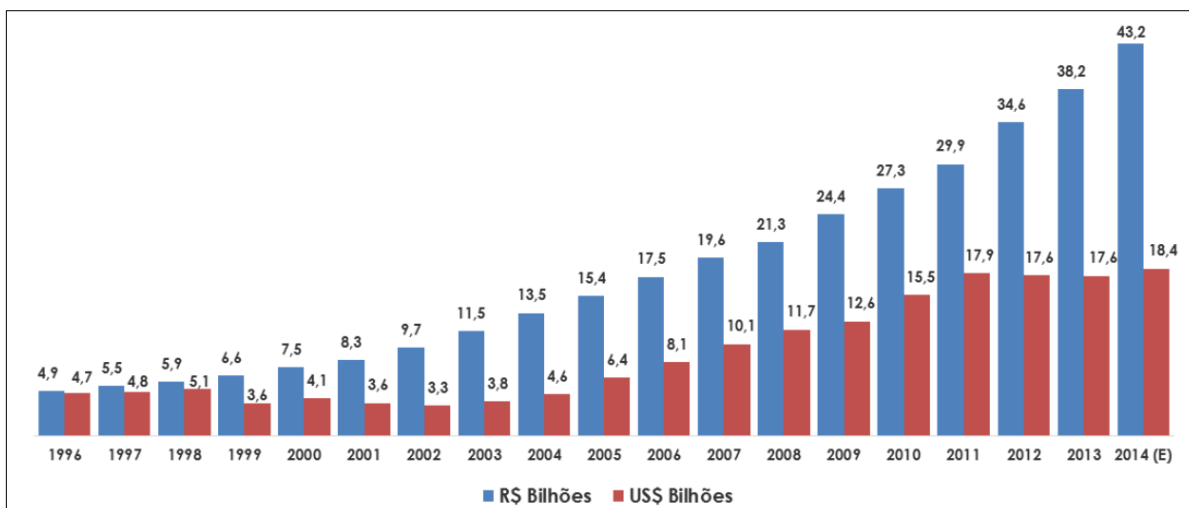


FIGURA 1 – CRESCIMENTO DA INDÚSTRIA DE HIGIENE PESSOAL, PERFUMARIA E COSMÉTICOS NOS ÚLTIMOS 19 ANOS
FONTE: ABIHPEC (2015)

Como este setor vem se mostrando muito rentável e com ótimas perspectivas de ganhos e crescimentos, o número de indústrias também aumentou, de 1.427 em 2004 para 2.525 em 2015, representando uma variação de aproximadamente 80% (ABIHPEC, 2015).

Estes números evidenciam maior concorrência devido a maior quantidade de empresas e produtos; este cenário associado ao período de recessão vivido pela economia nacional, estimula que as mesmas procurem soluções para diminuir seus custos, portanto, aumentar a eficiência da linha de produção se torna essencial.

A alocação dos recursos dentro de uma indústria é uma das funções atribuídas ao setor de Planejamento e Controle da Produção (PCP), porém a otimização dos mesmos torna a programação da produção um problema

demasiadamente complexo. Neste aspecto a Pesquisa Operacional (PO) surge para auxiliar a tomada de decisões ao propor modelos matemáticos que, por definição, almejam objetivos que irão resultar em soluções ótimas.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo estudar a seção de acabamento de uma indústria de cosméticos, otimizando o tempo total de processamento dos produtos que passam por ela e definindo o melhor sequenciamento das tarefas nas máquinas. Nesta seção há diferentes roteiros possíveis para os produtos, dependendo das suas características de embalagem, o que gera muitas possibilidades de sequenciamento. Este tipo de cenário é característico de um ambiente *job shop*, o qual é definido por um conjunto de tarefas (*jobs*), sendo cada uma delas composta por um roteiro de operações, designados pelo conjunto de máquinas requeridas e seus tempos de processamento, podendo este roteiro ser distinto para cada tipo de tarefa (BLASEWICZ; DOMSCHKE; PESCH, 1996).

Para definir o melhor sequenciamento de alguns itens (tarefas) desta indústria nas estações de trabalho (máquinas), que compõe a seção de acabamento, foi realizada a modelagem matemática de um problema clássico de *job shop*, que tem como propósito minimizar o tempo de processamento total dos produtos, ou seja, obter o menor *makespan* (ABDELJAOUAD et al., 2015).

Para alcançar o objetivo proposto o artigo é estruturado da seguinte forma: na Seção 2 é realizada uma breve revisão bibliográfica, seguida das Seções 3 e 4, nas quais serão descritos o problema e a metodologia proposta, respectivamente. Na seção 5, são apresentados os resultados, análises e discussão dos mesmos; e, por fim, na Seção 6, são apresentadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

2. Revisão Bibliográfica

A determinação dos roteiros de fabricação, ou seja, o sequenciamento quanto a ordem de execução é uma das atividades dentre as principais funções exercidas pelo Planejamento e Controle da Produção (PCP).

Para Tubino (2000) o PCP é um dos setores da fábrica que tem como função administrar e direcionar os recursos humanos e físicos afim de atingir as metas e

estratégias da empresa. Esta definição demonstra como é ampla a atuação do PCP, devendo a mesma se comunicar com diversos setores da fábrica. Dutra e Erdmann (2007) ainda enfatizam que o PCP é fundamental para construção da estratégia da organização, representando o eixo operacional da mesma, o que faz com que seu mal funcionamento acarrete deficiências na qualidade dos produtos, falta de confiabilidade das informações, pior aproveitamento dos recursos de produção, descumprimento de prazos, dentre outros problemas. Com isso evidencia-se a atenção que deve ser dada a este setor, por isso se faz necessária a utilização de ferramentas que forneçam suporte e segurança à tomada de decisões.

Para realização do planejamento da produção é necessário conhecer o sistema produtivo e sua classificação, pois suas características irão definir seu nível de complexidade. Os sistemas produtivos podem ser classificados de acordo com o grau de padronização, pelo tipo de operações e pela natureza dos produtos. O sistema de produção que está sendo estudado neste trabalho classifica-se como uma manufatura de bens, já que os produtos de higiene e beleza são objetos tangíveis. Eles também são padronizados, apesar de ter uma grande variedade e ainda permitir alterações de acordo com exigências dos clientes, porém apresentam uniformidade de produção, o que permite a padronização dos recursos produtivos e os métodos de trabalho e controle (TUBINO, 2000).

Ainda sobre a classificação do sistema produtivo desta indústria de cosméticos, seu tipo de operação é caracterizado como um processo repetitivo em lote. Este é definido por Tubino (2000) pela produção de um volume médio de bens padronizados em lotes, sendo que cada lote segue uma série de operações que necessita ser programada à medida que as operações anteriores forem realizadas. O sistema deve ser relativamente flexível, empregando equipamentos pouco especializados e mão-de-obra polivalente, visando atender a diferentes clientes e flutuações da demanda. As atividades de planejamento são simplificadas à medida que reduz a variedade de produtos concorrentes por uma gama de recursos, por isso a programação dos processos repetitivos em lote são mais difíceis do que os processos em massa.

Nos processos repetitivos em lotes as ordens de serviço devem ser analisadas segundo sua prioridade de fabricação e a escolha do recurso a ser utilizado dentre uma lista de recursos disponíveis. No âmbito do planejamento e controle da

produção há relações heurísticas que definem regras de prioridade (LUSTOSA et al., 2011). Algumas das mais usuais são exemplificadas na QUADRO 1.

QUADRO 1 – REGRAS DE SEQUENCIAMENTO

Sigla	Especificação
PEPS	Primeira que entra primeira que sai
MTP	Menor tempo de processamento
MDE	Menor data de entrega
IPI	Índice de prioridade
ICR	Índice crítico
IFO	Índice de folga
IFA	Índice de falta

FONTE: TUBINO (2000)

Estas regras de sequenciamento, de forma geral, são métodos de simples aplicação, porém não garantem a otimização de um critério de desempenho (LUSTOSA et al., 2001).

Como critério de desempenho almejado por este trabalho, pretende-se minimizar o *makespan*, o qual é definido por Arenales et al. (2007) como o instante de término de processamento de todas as tarefas a serem processadas. Deste modo, será determinado o sequenciamento de produção da seção de acabamento de uma indústria de cosméticos, a partir da obtenção do menor tempo de processamento, de um conjunto de operações, garantindo maior eficiência operacional.

Para encontrar a solução ótima do problema, o mesmo será abordado sob a ótica da Pesquisa Operacional (PO). A Pesquisa Operacional é uma área do conhecimento que consiste no desenvolvimento de um método científico, com a finalidade de prever e comparar estratégias, oferecendo suporte à definição de determinadas ações. Este método científico consiste na criação de modelos matemáticos, apoiados em dados e fatos, que permitem conhecer o problema estudado, simular e avaliar o resultado hipotético, servindo de base para propor decisões. Neste sentido, a PO pode atuar em conjunto com o PCP para apoiar a tomada de decisão quanto ao sequenciamento da produção, buscando a solução ótima do problema, representando-o por modelos matemáticos (CARDOSO, 2011).

A seção de acabamento desta indústria deve ser modelada como um problema de programação da produção do tipo *job shop* clássico, caracterizado por um ambiente de produção com n tarefas (*jobs*) e m máquinas, em que cada tarefa é processada nas m máquinas de acordo com um roteiro pré-estabelecido (ARENALES et al., 2007).

O termo *job shop* é utilizado para designar o tipo de processo onde é produzido um elevado número de artigos diferentes, normalmente em quantidades reduzidas e frequentemente de acordo com determinadas especificações do cliente. Normalmente os roteiros que os produtos seguem são variados, assim como os tempos de processamento nas diversas fases de produção. Mesmo conhecendo-se com exatidão o percurso que os *jobs* seguem e os tempos de processamento em cada seção ou máquina, é praticamente impossível prever o melhor sequenciamento devido ao grande número de combinações possível, o que torna o problema de sequenciamento em *job shop (job shop scheduling)* muito complexo (MOREIRA, 2005).

O problema da programação da produção do tipo *job shop scheduling* supõe um número finito de *jobs* e máquinas, um *job* é definido por uma sequência de operações que devem ser executadas em uma dada ordem. Cada uma destas operações é realizada por um conjunto de máquinas em um período de tempo. Para resolução deste problema são admitidas algumas considerações; assume-se que cada máquina pode realizar apenas uma tarefa de cada vez, bem como cada tarefa só pode ser processado em apenas uma máquina, as sequências de máquinas de cada *job* são fixas e as operações não podem ser interrompidas. Portanto, este problema irá consistir em determinar as sequências dos *jobs* em cada máquina, de forma que o tempo de execução transcorrido, desde o início do primeiro *job* até o término do último, seja mínimo. (BLASEWICZ; DOMSCHKE; PESCH, 1996).

3. Dados do Problema

Este artigo foi gerado a partir do estudo de caso realizado de acordo com o processo existente em uma indústria de cosméticos localizada na Região Metropolitana de Curitiba, a qual a identificação e os dados referentes aos produtos são confidenciais.

O setor produtivo desta fábrica é composto pelas seções de manipulação, controle de qualidade, rotulagem, envase, acabamento e expedição (FIGURA 2). Neste trabalho será estudado apenas a seção de acabamento, a qual aparece mais detalhada na FIGURA 3. Nesta seção há 4 roteiros de produção possíveis e cada

produto, dependendo de sua especificação ou do cliente, poderá seguir por um caminho distinto.

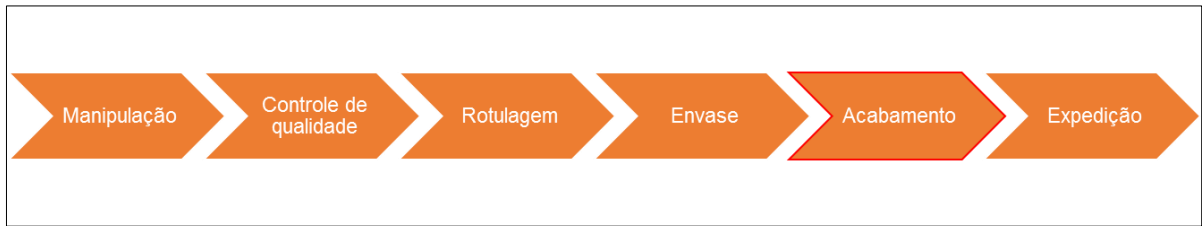


FIGURA 2 – FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO DO PROCESSO PRODUTIVO DA INDÚSTRIA DE COSMÉTICOS
FONTE: O Autor (2015)

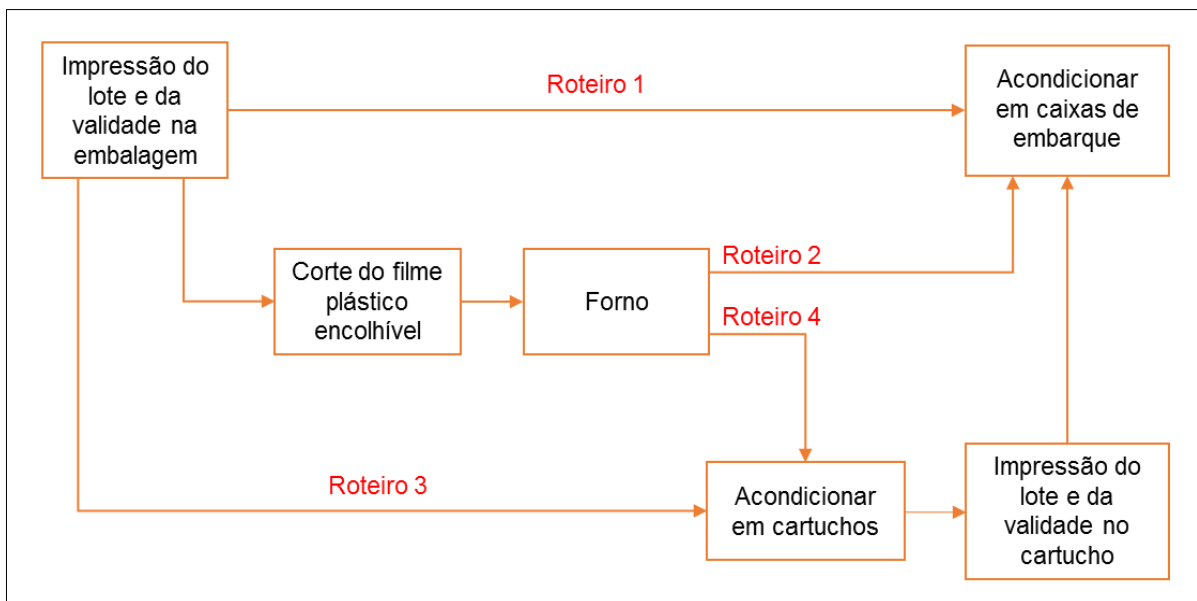


FIGURA 3 – ROTEIROS POSSÍVEIS DE PRODUÇÃO DA SEÇÃO DE ACABAMENTO
FONTE: O Autor (2015)

Para o desenvolvimento da modelagem deste problema cada atividade, dentro da área de acabamento, é definida como uma máquina e as tarefas são os produtos que deverão passar por esse processo de acordo com um roteiro fixo e com tempos de processamento pré-estabelecidos.

A seguir são apresentados os dados necessários para formulação do problema. Na TABELA 1 é deixado explícito a correspondência de trabalho desempenhada por cada máquina e seu tempo de processamento médio para cada item, obtidos através de observação empírica.

TABELA 1 – DESCRIÇÃO DA FUNÇÃO EXERCIDA PELAS MÁQUINAS E SEUS TEMPOS MÉDIOS DE PROCESSAMENTO

Máquina	Descrição	Tempo médio de processamento (min)
1	Impressão do lote e da validade na embalagem	0,08
2	Acondicionar em caixas de embarque	0,20
3	Corte do filme plástico encolhível	0,12
4	Forno	0,17
5	Acondicionar em cartuchos	0,08
6	Impressão do lote e da validade no cartucho	0,08

FONTE: O Autor (2015)

Na TABELA 2 estão apresentados os dados referentes as tarefas que serão programadas, com a informação do seu roteiro e da demanda, a última foi estimada a partir de informações fornecidas pela empresa.

TABELA 2 – DESCRIÇÃO CADA TAREFA COM SEU RESPECTIVO ROTEIRO E DEMANDA

Tarefa	Descrição	Roteiro	Demanda
1	Creme Hidratante	4	1300
2	Colônia	3	4000
3	Sabonete líquido	1	2800
4	Protetor Solar	2	1100
5	Gel Creme Nutritivo	4	1500
6	Desodorante	3	4500
7	Shampoo	1	3100
8	Óleo	2	2800

FONTE: O Autor (2015)

4. Metodologia

A resolução segue o modelo matemático proposto por Arenales et al. (2007) para problemas do tipo *job shop*. Para isso devem ser geradas as matrizes de operação e de tempos de processamento. A TABELA 3 corresponde à matriz de operações a qual indica a ordem das máquinas que cada tarefa irá percorrer dentro da seção de acabamento. Abdeljaouad et al. (2015) afirma que a abordagem mais comum entre os problemas de *job shop* garante que cada tarefa tenha pelo menos uma operação em cada máquina, porém isto não é uma regra, neste trabalho, por exemplo, nem todas as tarefas passam por todas as máquinas, fato que requer maior atenção na implementação do modelo matemático.

A TABELA 4, matriz de tempos de processamento, define o tempo que cada tarefa irá permanecer em cada máquina. Cada tarefa neste caso foi determinada como o conjunto de produtos que deverão ser processados, o qual corresponde a demanda.

Sendo assim o tempo de processamento de cada tarefa é definido como o tempo de processamento de um item multiplicado pela sua demanda.

TABELA 3 – MATRIZ DE OPERAÇÕES

Tarefa	Ordem de Máquina					
1	1	3	4	5	6	2
2	1	5	6	2		
3	1	2				
4	1	3	4	2		
5	1	3	4	5	6	2
6	1	5	6	2		
7	1	2				
8	1	3	4	2		

FONTE: O Autor (2015)

TABELA 4 – MATRIZ DE TEMPOS DE PROCESSAMENTO

Tarefa	Tempos de processamento (min)					
	Máquinas					
	1	2	3	4	5	6
1	108,33	260,00	151,67	216,67	108,33	104,00
2	333,33	800,00			333,33	320,00
3	233,33	560,00				
4	91,67	220,00	128,33	183,33		
5	125,00	300,00	175,00	250,00	125,00	120,00
6	375,00	900,00			375,00	360,00
7	258,33	620,00				
8	233,33	560,00	326,67	466,67		

FONTE: O Autor (2015)

Para a modelagem do problema são definidos os seguintes parâmetros:

n : número de tarefas;

m : número de máquinas;

ρ_{ik} : tempo de processamento da tarefa i na máquina k ;

$i(1), \dots, i(m)$: roteiro de processamento da tarefa i nas m máquinas;

M = número grande;

As variáveis, as quais serão atribuídos valores a partir dos dados informados pelas matrizes, são apresentadas a seguir:

C_{ik} : instante de término do processamento da tarefa i na máquina k ;

1, se a tarefa i precede a tarefa j na máquina k ;

X_{ijk} :

0, caso contrário.

Observa-se que o somatório de C_{ik} corresponde ao *makespan*, o qual deverá ser minimizado, pois para esta variável será atribuído o menor tempo de processamento de cada tarefa e seu conjunto retornará a solução da minimização do

tempo de fluxo total. Será adotado o seguinte modelo definido pela função objetivo, Equação 1, e pelas restrições, Equações 2 a 6.

$$\min \sum_{i=1}^n C_{i(m)} \quad (1)$$

$$C_{i,i(1)} \geq p_{i,i(1)}, i = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$C_{i,i(k+1)} \geq C_{i(k)} + p_{i,i(k+1)}, i = 1, \dots, n \quad k = 1, \dots, m - 1 \quad (3)$$

$$C_{jk} \geq C_{i(k)} + p_{jk} - M(1 - x_{ijk}), i = 1, \dots, n \quad j = 1, \dots, n \quad k = 1, \dots, m \quad (4)$$

$$C_{ik} \geq C_{jk} + p_{ik} - Mx_{ijk}, i = 1, \dots, n \quad j = 1, \dots, n \quad k = 1, \dots, m \quad (5)$$

$$C \in R_+^{mn}, x \in B^{mn} \quad (6)$$

Reiterando, a função objetivo do problema, Equação 1, define o ponto de mínimo do somatório dos instantes de término de todas as tarefas, expressando a minimização do tempo de fluxo total das tarefas. A restrição representada pela Equação 2 garante que a primeira operação de cada tarefa i é completada após o respectivo tempo de processamento. A Equação 3 expressa a imposição de que a operação $k+1$ da tarefa i deve ser concluída depois do tempo de processamento da tarefa k somado ao tempo de processamento da tarefa $k+1$ (ARENALLES et al., 2007).

As restrições dadas pelas Equações 4 e 5 são restrições disjuntivas, ou seja, elas não podem ser executadas simultaneamente e a ativação de uma anula a outra, indicando a ordem de processamento das tarefas em cada máquina, se a tarefa i precede a tarefa j ou o contrário. E a última restrição, Equação 6, define o tipo das variáveis, determinando que C_{ik} admita apenas valores reais positivos e que x retorne uma resposta binária (ARENALLES et al., 2007).

A solução ótima deste modelo foi obtida através do *software Lingo*, o qual foi programado para obter os dados das matrizes de operação e tempos de processamento contidas no *software Microsoft Office Excel*, retornando no mesmo arquivo as variáveis de resposta e o tempo total de processamento.

5. Resultados e Discussão

A partir da modelagem do problema proposto, o *software Lingo* gerou os seguintes resultados, os quais estão apresentados na TABELA 5.

TABELA 5 – RESULTADOS OBTIDOS PELA IMPLEMENTAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO

Tarefa	C _{ik} (min)					
	Máquinas					
	1	2	3	4	5	6
1	453,33	1325,67	605,00	853,33	961,67	1065,67
2	1228,33	3628,33			1561,67	1881,67
3	233,33	793,33				
4	325,00	1013,33	453,33	636,67		
5	621,67	1648,33	853,33	1103,33	1228,33	1348,33
6	1950,00	4528,33			3268,33	3628,33
7	2208,33	2828,33				
8	855,00	2208,33	1181,67	1648,33		

FONTE: O Autor (2015)

A resolução do problema foi satisfatória, alcançando o ponto ótimo global de 17.974,00 minutos, valor correspondente ao somatório mínimo dos tempos de término de cada tarefa. A última operação deste cenário é o processamento da tarefa 6, na máquina 2, com seu término em 4548,33 min, o que equivale a, aproximadamente, 75 horas. Desta forma subentende-se que para a conclusão de todas as tarefas serão necessários 5 dias de trabalho, considerando dois turnos de 8 horas cada.

Estes resultados foram ordenados e assim obteve-se o sequenciamento das tarefas em cada máquina, os quais estão apresentados na TABELA 6. Nela é possível identificar claramente as ordens de produção, por exemplo, para a Máquina 1 (primeira coluna) primeiramente é processada a tarefa 3, seguindo para a 4, 1, 5, 8, 2, 6 e por último, a tarefa 7.

TABELA 6 – SEQUENCIAMENTO DAS TAREFAS EM CADA MÁQUINA

		Máquinas					
	1	2	3	4	5	6	
3	3	4	4	1	1		
4	4	1	1	5	5		
1	1	5	5	2	2		
5	5	8	8	6	6		
8	8						
2		7					
6		2					
7		6					

FONTE: O Autor (2015)

Para melhor visualização do sequenciamento das tarefas na seção de acabamento foi estruturado o Gráfico de Gantt (FIGURA 4), utilizando o *Microsoft Office Excel*. O Gráfico de Gantt é um diagrama de barras horizontais, o comprimento das barras indica o período de execução de cada tarefa em cada máquina e as colunas correspondem a uma unidade de tempo, que neste caso está em horas. O Gráfico de Gantt se mostra como uma consolidada ferramenta de gestão, o qual surgiu com intuito de gerenciar o planejamento e controle da produção através de um método de fácil compreensão, facilitando a visualização das atividades, como se movem dentre os centros de trabalho, sua duração e sequencia. Através dele é possível propor sugestões de melhorias e propor operações mais eficientes (DAYCHOUM, 2007; WILSON, 2003).



FIGURA 4 – GRÁFICO DE GANTT
 FONTE: O Autor (2015)

A partir do Gráfico de Gantt é possível observar que o processo crítico está localizado na Máquina 2. Esta operação é responsável pelo acondicionamento em caixas de embarque, o qual possui tempo de processamento maior por exigir o deslocamento do funcionário, organização do produto dentro da caixa e seu fechamento com fita adesiva. Para diminuir o atraso da produção, gerado por este gargalo, sugere-se a duplicação deste posto. Tal medida reduziria o tempo, no mínimo, para 59 horas, devido ao deslocamento das tarefas 2 e 6 para este segundo polo de acondicionamento em caixas de embarque, o que equivale a um dia a menos de operação.

Identificado o gargalo como sendo a máquina 2 evidencia que enquanto a mesma processa as tarefas restantes as demais máquinas ficam ociosas, porém, na prática isto não deve ocorrer pois devem ser roteirizadas novas ordens de produção de outros produtos.

Este estudo afirma o caráter gerencial do PCP, pois a partir do mesmo, esta indústria poderá se organizar para definir os períodos de produção e os prazos de entrega destes produtos a partir desta demanda. Mas ainda é possível ir além e aplicar esta rotina para demandas distintas e ampliar a gama de produtos a ser sequenciada.

6. Considerações finais

Neste artigo foi obtido o sequenciamento da produção na seção de acabamento em uma indústria de cosméticos através da minimização do *makespan*, partindo de um problema de programação da produção em um ambiente do tipo *job shop*.

A modelagem matemática deste problema foi implementada e otimizada no *software Lingo*, resultando no *makespan* mínimo de, aproximadamente 300 horas, tempo equivalente ao somatório dos instantes de término de cada tarefa em sua última máquina. Porém como as tarefas ocorrem simultaneamente o processamento de todas elas por todas as máquinas dura 75 horas. Foi verificado que este valor pode ser reduzido, no mínimo, em 21%, resultando em 59 horas, mas para isso é sugerida a duplicação da capacidade produtiva da máquina 2, esta é definida pela estação de trabalho responsável pelo acondicionamento dos produtos em caixas de embarque.

Este modelo se mostrou eficaz para a elaboração do sequenciamento servindo de apoio à tomada de decisões pelo PCP, o qual, poderá utilizar a otimização do sequenciamento como critério para programar as ordens de produção e os prazos de entrega para os clientes. Contudo, também foi verificada a possibilidade de aplicação deste modelo para outros produtos e outras demandas, o que poderá ser realizado em trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

ABDELJAOUAD, M. A.; BAHROUN, Z.; OMRANE, A.; FONDREVELLE, J. **Job-shop production scheduling with reverse flows**. European Journal of Operational Research, Vol. 244, p.117-128, 2015.

ABIHPEC. Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos. **Panorama do Setor de HPPC**. São Paulo, 2015.

ARENALES, M., ARMENTANO, V., MORABITO, R., YANASSE, H. **Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro: Campus Elsevier, 2007.

BLASEWICZ, J.; DOMSCHKE, W.; PESCH, E. **The job shop scheduling problem: conventional and new solution techniques**. European Journal of Operational Research, Vol.93, p. 1-33, 1996.

CARDOSO, A. **Fundamentos da Pesquisa Operacional**. Alfenas: UNIFAL, 2011.

DAYCHOM, M. **40 Ferramentas e técnicas de gerenciamento**. Rio de Janeiro: Brasport, 2007.

DUTRA, F. A. F.; ERDMANN, R. H. **Análise do planejamento e controle da produção sob a ótica da teoria da complexidade**. Produção, Vol. 17, n. 2, p. 407-419, 2007.

LUSTOSA L.; MESQUITA, M. A.; QUELHAS, O.; OLIVEIRA, R. **Planejamento e Controle da Produção**. Rio de Janeiro: Campus Elsevier, 2008.

MOREIRA, M. R. M. O. A. **Planeamento e controle de operações em job-shop**. Tese de doutorado. Porto: FEP, 2005.

TUBINO, D.F. **Manual de Planejamento e Controle da Produção**. São Paulo: Atlas, 2000.

WILSON, J. M. **Gantt Charts: a centenary appreciation**. European Journal of Operational Researches, Vol.149, p. 430-437, 2003.