

Curso de Especialização Tecnológica

Organização e Gestão Industrial

Planeamento e Controlo da Produção

Profº: Doutor Paulo Ávila

Programação da Produção de Injecção de Termo-plásticos:
Estudo de Caso

Tiago Simões
Selma Schultes

Março de 2011

FORESP- Associação Para a Formação e Especialização Tecnológica

"respice finem"
olha para o fim

ÍNDICE:

I- Resumo	pág.02
II- Palavras chave	pág.02
1- Introdução	pág.03
2. Considerações sobre a programação de operações	pág.04
2.1 Scheduling	pág.05
2.1.1 Ferramentas de escalonamento	pág.05
2.1.2 O gráfico de Gannt	pág.06
2.2 Considerações sobre a capacidade finita	pág.07
2.3 Decisões no escalonamento de processos repetitivos em lotes	pág.08
3. Classificação de problemas determinísticos de scheduling	pág.09
3.1 Configurações das máquinas (α):	pág.09
3.2 As restrições adicionais (β)	pág.10
3.3 Função objectivo (γ)	pág.10
4. O estudo de caso : “scheduling” do processo produtivo	pág.11
4.1 Apresentação do problema de escalonamento	pág.12
4.2 Os Fluxos de Informações e materiais do sector de moldagem	pág.13
4.3 O fluxograma do fluxo do informações e materiais do processo	pág.14
4.4 Compreensão e síntese do problema	pág.15
4.5 A execução de um plano de resolução	pág.15
4.6 O mecanismo de trabalho do Software Lekin	pág.16
4.6.1 O tempo de conversão de cada job (π)	pág.16
4.6.2 O definição do número de máquinas	pág.16
4.6.3 A definição dos tempos de setup	pág.16
4.6.4 A caracterização por status dos jobs	pág.17
4.7 <i>Simulação do Problema</i>	pág.18
5 <i>A análise do escalonamento mês de agosto</i>	pág.19
5.1 <i>O gráfico de gannt do mês de agosto</i>	pág.20
5.2 <i>A função objectivo</i>	pág.21
6. <i>Conclusão</i>	pág.22
7. <i>Bibliografia</i>	pág.23

Anexo 1 : Base de Dados para o Escalonamento em máquinas paralelas

Anexo 2 : Análise da Programação da Produção

Anexo 3 : Introdução ao LEKIN

ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura 01 - Modelo de Programação Directora de Produção	pág.04
Figura 02 - Sistema com Capacidade Finita	pág.05
Figura 03 - a) Software Lekin - b) Software Lisa (Europa)	pág.06
Figura 04 - Gráfico de Gannt	pág.07
Figura 05 - Decisões no escalonamento de processos em lotes	pág.07
Figura 06 - Representação esquemática do processo de injeção	pág.10
Figura 07 - Injectora de termo-plástico horizontal	pág.11
Figura 08 - Fluxo Simplificado do Processo	pág.13
Figura 09 - Tabela dos Tempos de Setup	pág.15
Figura 10 - Matriz de Setup	pág.16
Figura 11 - Resultado Escalonamento mês de Agosto	pág.18
Figura 12 - Gráfico de Gannt do escalonamento do mês de Agosto	pág.19
Quadro 01- Descrição de algumas regras heurísticas de prioridade	pág. 08

I- RESUMO

Este estudo de caso apresenta o processo de programação da produção em um ambiente fabril de injeção de termo-plásticos e analisa a questão da optimização da produção com a utilização genérica de “*Scheduling*” por Software.

II- PALAVRAS CHAVE: Scheduling, Escalonamento, LEKIN, LISA, Programação da Produção, Capacidade Finita.

1- INTRODUÇÃO

Este relatório se enquadra no âmbito da disciplina de Planeamento e Controlo da produção, do Curso Tecnológico de Organização e Gestão Industrial da Escola Tecnológica de Vale de Cambra.

O presente estudo tem como objectivo geral dar uma visão global do ambiente fabril em que se processa o fabrico de componentes e produtos finais em termo-plásticos, compostos por processos como o de moldagem e extrusão de componentes, montagem manual e automática de produtos intermediários, embalagem de produtos finais entre outros.

Realizamos o resumo, análise e compilação de três monografias baseadas em casos reais de análise da programação da produção de injeção de termo-plásticos¹ que fizeram parte dos requisitos de graduação num Curso de Engenharia da Produção no país onde estão localizadas as unidades fabris.

Procuramos com este trabalho realçar a importância que a actividade de Programação e Controle da Produção desempenha na busca da optimização dos processos produtivos e na obtenção de diferenciais competitivos.

Abordamos o tratamento dado aos factores usualmente considerados para o escalonamento das tarefas num centro de trabalho, nomeadamente considerações sobre capacidade, processos por lotes, configuração das máquinas, restrições de tempo, prioridades, as decisões que direccionam a ordem em que os produtos devem ser fabricados, as prioridades e restrições impostas pelo processo, seus reflexos nos prazos de entrega do produto para o cliente e nos custos.

Finalmente o trabalho está aglutinado na resolução do escalonamento da produção através da heurística “*General SB Routine*” e na sua representação através do gráfico de Gantt e os critérios de desempenho através da função objectivo “*makespan*”.

No anexo3 acrescentamos dois exemplos simplificados do uso do software Legin na programação da produção em máquina única e em Flow Job, respectivamente.

1 - Becton, Dickinson and Company e Hiper-Roll Embalagens.

2 – CONSIDERAÇÕES SOBRE A PROGRAMAÇÃO DE OPERAÇÕES

As decisões que envolvem os sistemas de administração da produção são diferenciadas de acordo com o horizonte de tempo de planeamento: longo, médio e curto prazo.

O Planeamento e o Controlo a Curto Prazo, “consiste em decidir quais actividades produtivas (ou ordens/ instruções de trabalho) devem ser realizadas, quando (momento de início ou prioridade na fila) e com quais recursos (matérias-primas, máquinas, operadores, ferramentas, entre outros) para atender a demanda, através das decisões do Plano Director de Produção (PDP)”².

A Figura 1 ilustra em representação IDEF0, um modelo de PDP com as entradas (EPDP), os mecanismos de Controlo(CPDP) as ferramentas para sua execução (FPDP) e as saídas do sistema SPDP)

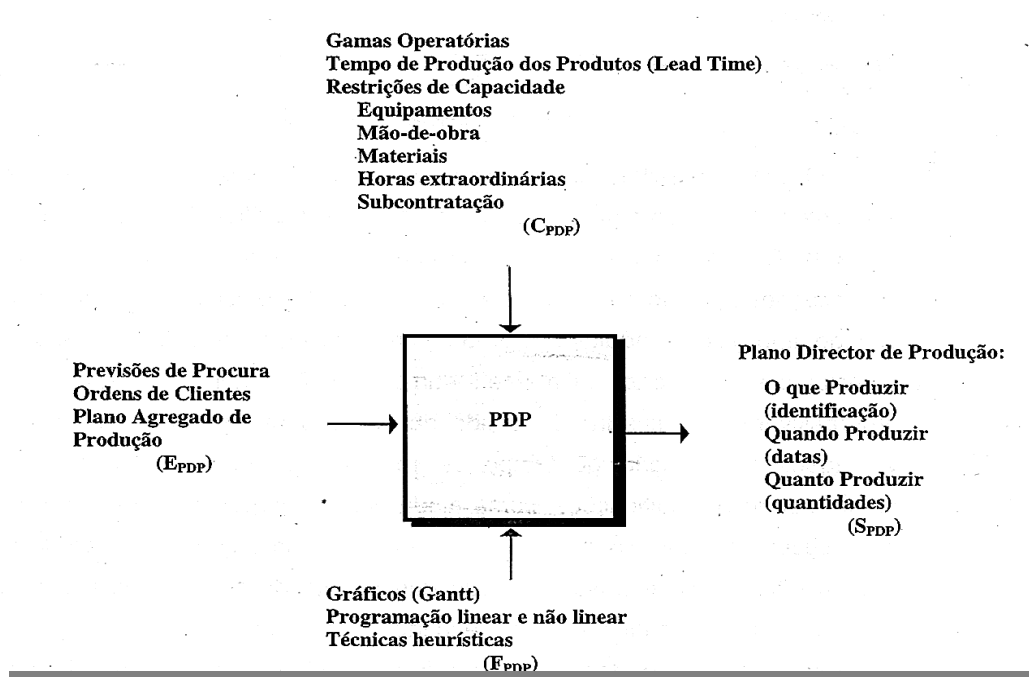


Figura 1 – Modelo de Programação Directora de Produção³

2 - Correa, Gianesi, Caon - Planejamento, Programação e Controle da Produção- Editora Atlas (2006)

3 - Adaptado de Avila P., Manual de Planeamento e Controlo da Produção- ETVC (2010)

2.1 - SCHEDULING

“No actual ambiente competitivo, o efectivo escalonamento tornou-se uma necessidade para sobrevivência no mercado.

As Empresas devem esforçar-se ao máximo para cumprir as datas firmadas com os seus clientes.

O fracasso deste comprometimento pode resultar numa perda significativa da imagem da empresa perante os clientes”⁴.

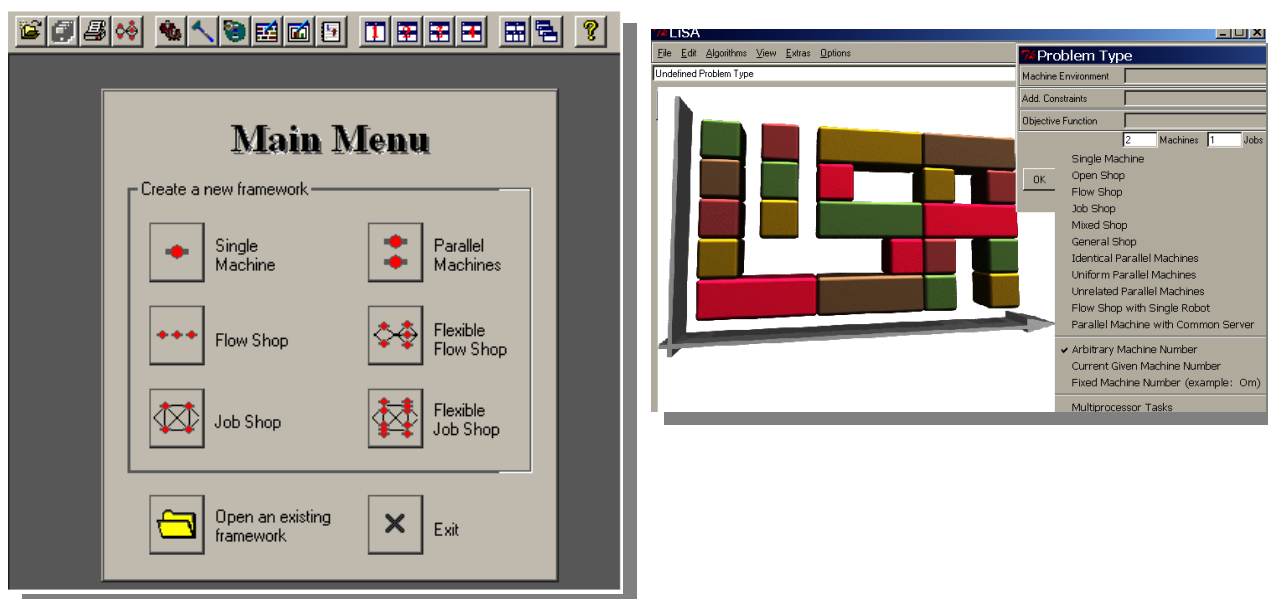
O Scheduling causa grande impacto na produtividade de todo sistema produtivo, visto que actua com vista a minimização do tempo e de custos, e fornece a produção o que produzir, quando e quanto.

O escalonamento determina o prazo das actividades a serem cumpridas e a sequência das mesmas, de acordo com a disponibilidade de equipamentos, matérias-primas, mão-de-obra, tempos de processamento e prazo. Uma série de pedidos de clientes disputam recursos durante sua produção, estes recursos têm capacidade finita.

2.1.1 FERRAMENTAS DE ESCALONAMENTO:

É importante a escolha da ferramenta de optimização da programação da produção devido a programação da produção ser uma tarefa complexa que justifica a utilização de um método computacional para auxiliar no seu escalonamento.

Na figura 3 temos o SOFTWARE LEKIN E O SOFTWARE LISA.



4 Pinedo, M. Scheduling: theory, algorithms, and systems, Ed. Springer- 2002

Figura: 3a) SOFTWARE LEKIN (USA)

3b) SOFTWARE LISA (EUROPA)

2.1.2 O GRÁFICO DE GANNT

O gráfico de Gannt é uma ferramenta que “proporciona uma representação visual simples do que deveria e do que acontece nas operações. Além disso, pode ser usado para “testar” programas alternativos.”⁵ é um artifício de auxílio na construção do escalonamento e no controlo, porém não é uma ferramenta de optimização.

Por suas características, é largamente utilizado para representar as soluções geradas por softwares que fazem escalonamento da produção.

Na figura 4 temos um exemplo de Gráfico de Gannt (Software Lekin)

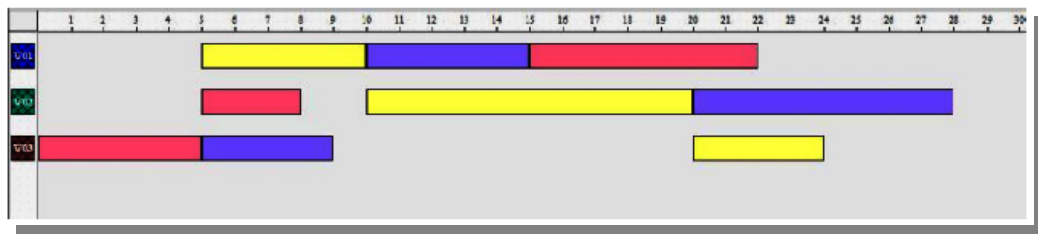


Figura 4 - Gráfico de Gannt

No gráfico acima, o eixo vertical representa todas as máquinas do processo e o eixo horizontal, o tempo. As diferentes barras representam as tarefas, por uma cor diferente, e estas representam a duração da actividade de produção cada produto em cada uma das máquinas.

⁵ Sack N., Chambers S., ohnston R., Operations and Process Management: Principles and Practice for Strategic Impact

2.2- CONSIDERAÇÕES SOBRE A CAPACIDADE FINITA

Tomam como princípio a capacidade produtiva e características tecnológicas como restrições. Simulam um modelo do sistema produtivo, com roteiros, recursos, restrições, tempos de operações e “set-up”.

A utilização destes modelos é crescente, pelos resultados obtidos, que buscam otimizar o escalonamento de forma que seria inviável a realização de tal actividade apenas utilizando a habilidade humana pois o número de programações cresce à medida que o número de actividades e processos aumenta.

Conforme a fórmula (1) pode-se saber o número de sequências de “*n Jobs*” em “*m máquinas*”, por exemplo, uma linha de produção com apenas cinco diferentes tipos de produtos e apenas cinco máquinas possui 24.883.200.000 diferentes programações possíveis.

(1) Número de programações = $(n!)^m$

n é o número de trabalhos (ou produtos a serem produzidos)

m é o número de máquinas (ou actividades a serem realizadas)

Numero de programações = $(5 \times 4 \times 3 \times 2 \times 1)^5 = 24.883.200.000$

Na figura 2 temos ilustrado um sistema de programação da produção com capacidade finita. ⁶

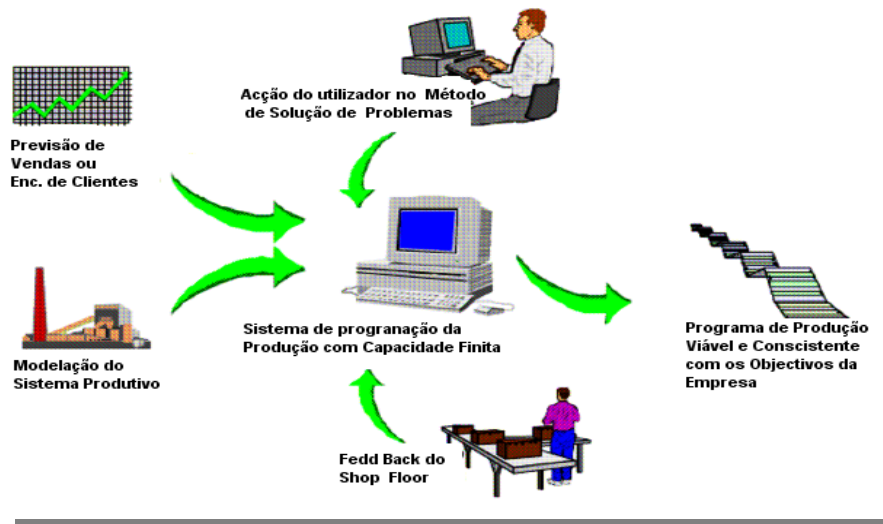


Figura 2- Sistema com Capacidade Finita

Por conseguinte, a utilização de modelos computacionais garantem uma “*performance*” quase infinita comparada com os métodos manuais de escalonamento.

⁶ - Correa, Gianesi, Caon - Planejamento, Programação e Controle da Produção- Editora Atlas (2006)

2.3- DECISÕES NO ESCALONAMENTO DE PROCESSOS REPETITIVOS EM LOTES

Os processos repetitivos em lotes, são caracterizados pela produção de determinado volume de itens padronizados que segue uma série de operações pré-determinadas, e as decisões de escalonamento⁷ são tomadas conforme a figura 5.

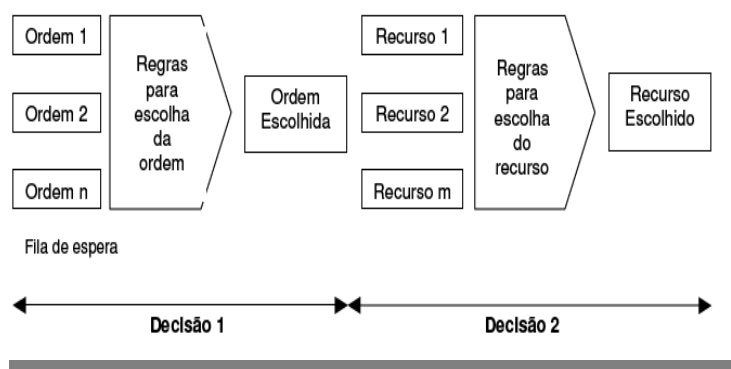


Figura 5 – Decisões no escalonamento de processos repetitivos em lotes

Vários problemas de otimização de alocação de recursos escassos podem ser modelados como um problema de *scheduling*. Tais problemas podem ser determinísticos, quando todos os seus parâmetros são fixos e previamente fornecidos ou estocásticos, quando os dados referentes às tarefas, como o tempo de processamento ou prazo de entrega, por exemplo, não são exactamente conhecidos a priori, tem-se o conhecimento apenas de suas distribuições.

Os mecanismos de solução dos problemas de sequenciamento podem ser caracterizados em modelos exactos (Matemáticos), modelos aproximados (Heurísticos) A seguir serão apresentadas algumas regras heurísticas utilizadas.

⁷ Tubino D.F, Manual de Planeamento e Controlo da produção Ed. Atlas 2000

Regra	Estratégia de escolha da próxima operação
FCFS (<i>first come first serve</i>)	Sequência de chegada
EDD (<i>earliest due date first</i>)	De acordo com a data prometida de entrega
SPT (<i>shortest processing time first</i>)	Prioriza a peça com o menor tempo de processamento em análise
LPT (<i>longest processing time</i>)	Prioriza a peça com o maior tempo de processamento em análise
WSPT (<i>weighted shortest processing time first</i>)	Prioriza a peça com o menor tempo de processamento em análise considerando um peso diferenciado para as tarefas

Quadro 1: Descrição de algumas regras heurísticas de priorização

3- CLASSIFICAÇÃO DE PROBLEMAS DETERMINISTICOS DE SCHEDULING

Os problemas de escalonamento são determinísticos, quando todos os seus parâmetros são fixos e previamente fornecidos.

Os Softwares de escalonamento utilizam a classificação de Graham et al ⁸ pela forma $\alpha / \beta / \gamma$,

onde:

- α - descreve a CONFIGURAÇÃO DAS MÁQUINAS
- β - fornece as RESTRIÇÕES ADICIONAIS
- γ - representa a FUNÇÃO OBJECTIVO

O número de *jobs* (n) e o número de máquinas (m) devem ser finitos e o tempo de processamento do *job* j na máquina i é representado por p_{ij} .

O sistema deve ser caracterizado pela interacção das máquinas com as necessidades do processo.

3.1 CONFIGURAÇÕES DAS MÁQUINAS (α):

MÁQUINA ÚNICA (1): Os *jobs* necessitam de apenas uma operação em uma única máquina disponível.

⁸ - Graham, R.E., Lawler, E.L., Lenstra, J.K., Rinnooy Kan, A.H.G. [1979]: Optimization and approximation in deterministic sequencing and scheduling: a survey; Ann. Discrete Math. 4, 287-326

MÁQUINAS PARALELAS (Pm, Qm, Rm): Os *jobs* necessitam de apenas uma operação, podendo passar por qualquer máquina disponível. As máquinas podem ser iguais ou com velocidades de processamento diferentes.

FLOW SHOP (FM): Todos os *jobs* devem seguir o mesmo roteiro, ou seja, passar pelas mesmas máquinas que se encontram em série.

JOB SHOP (JM): Cada tarefa tem seu respectivo roteiro pré-determinado, sendo que os *jobs* podem passar pela mesma máquina mais de uma vez.

OPEN SHOP (OM): Cada *job* necessita ser processado novamente em cada uma das *m* máquinas. Alguns destes tempos podem ser zero. É determinado um roteiro para cada *job*, sendo que *jobs* diferentes podem ter roteiros diferentes.

3.2 AS RESTRIÇÕES ADICIONAIS (β)

São as características específicas de cada tipo de problema,

RESTRIÇÕES DE PRECEDÊNCIA - quando determinados *jobs* precisam ser completados antes do início de outros;

RESTRIÇÃO DE PREEMPÇÃO (PREEMPTION)- quando “um *job* pode ser interrompido a qualquer momento e continuar posteriormente, possivelmente em uma máquina diferente”

RESTRIÇÕES DE ENTRADA (RELEASE DATE - RJ) - as datas em que *jobs* estarão disponíveis para processamento ;

RESTRIÇÕES DE CONCLUSÃO DUE DATE – DJ) - as datas que *jobs* devem estar prontos

FACTOR DE PRIORIDADE OU PESO (WEIGHT – WJ)- de cada tarefa, se necessário.

3.3 FUNÇÃO OBJECTIVO (γ):

“O objectivo a ser minimizado é sempre uma função do tempo de conclusão dos *jobs*, que é claro, depende do escalonamento”.

Com base nas configurações supracitadas, os principais tratamentos dados à função objectivo são::

MAKESPAN (C_{MAX}): É equivalente ao tempo total, após o último *job* deixar o sistema. É a soma dos tempos das tarefas da máquina com maior carga. Um *makespan* mínimo implica em alta utilização do sistema.

ATRASSO MÁXIMO (L_{MAX}): minimização da pior violação relacionada às datas de términos dos *jobs*. Esse atraso é obtido através da diferença entre o tempo real de processamento e o tempo planeado, sendo o resultado positivo quando a tarefa é completada após a data limite de processamento e negativo, quando finalizada precocemente

ATRASSO TOTAL (T_J): minimização da soma dos atrasos de cada *job*.

TEMPO TOTAL EXECUTADO (C_J): minimização da soma dos tempos necessários de execução dos *jobs*. A Generalização da regra **SPT (Shortest Processing Time)** para máquinas paralelas, que diz que ao dar prioridade aos *jobs* com menos tempo de processamento podemos minimizar o tempo total.

4- O ESTUDO DE CASO : “SCHEDULING” DO PROCESSO PRODUTIVO

O processo de moldagem por injeção é uma técnica que consiste em forçar, através de uma rosca-pistão, a entrada de um composto fundido para o interior da cavidade de um molde. Após o resfriamento da peça, a mesma é extraída e um novo ciclo de moldagem se reinicia.

As etapas deste processo podem ser assim ordenadas:

- Fechamento do molde
- Transporte do Material
- Aquecimento e fusão da resina
- Homogeneização do material fundido
- Injecção do termo-plástico fundido no interior da(s) cavidade(s) do molde
- Recalque (manutenção da pressão até solidificação da peça)
- Resfriamento e solidificação completa do material na cavidade
- Ejecção da peça moldada.

A figura 6, mostra o processo de injeção de termo-plástico.

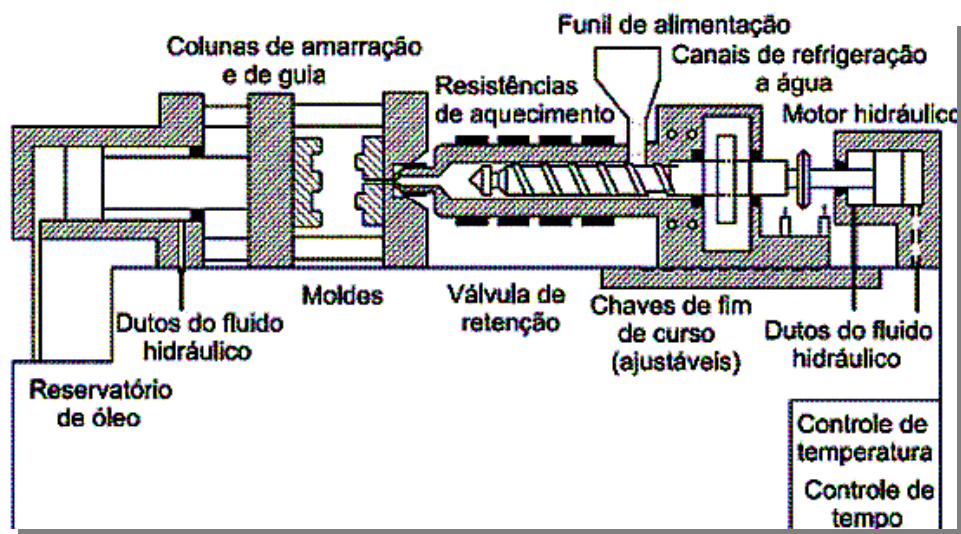


Figura 6 - Representação esquemática do processo de injeção

Os moldes utilizados são estruturas metálicas em forma de bloco com cavidades que possuem o mesmo formato da peça na qual se deseja moldar, estas cavidades recebem o termo-plástico fundido, dando forma a uma determinada peça.

4.1- APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA DE ESCALONAMENTO:

O Sector de moldagem, localizado da fábrica de produtos descartáveis da Becton Dickinson, gera componentes que são consumidos no processo de montagem dos produtos finais da companhia.

A moldagem é formada por 19 máquinas injectoras de termo-plásticos horizontais (Figura 7) que utilizam como matérias-primas polímeros e pigmentos para dar a coloração desejada aos produtos.

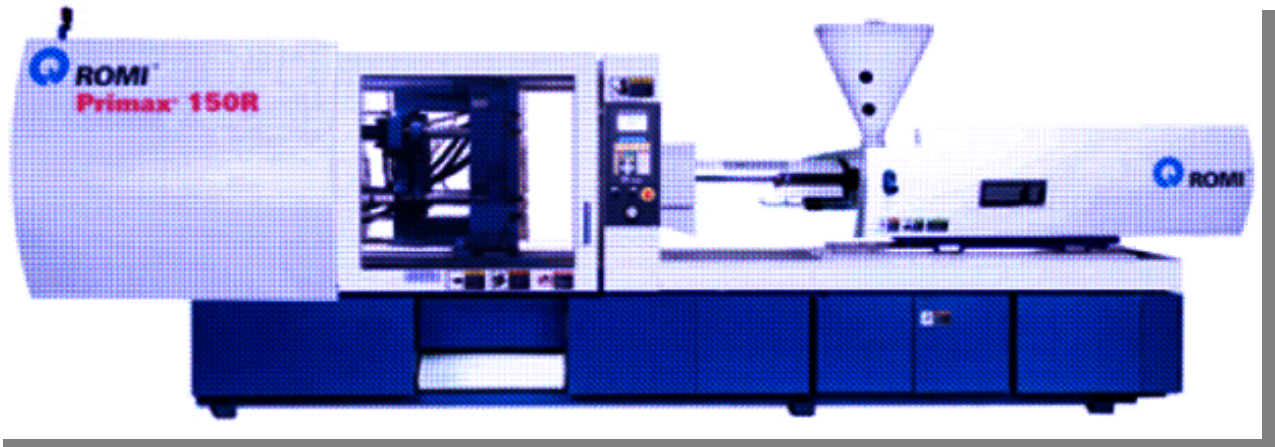


Figura 7 – Injectora de termo-plástico horizontal

No sector de moldagem da empresa Becton Dickinson, aproximadamente 70 itens ganham forma. O molde é uma peça de alto custo, devendo ser utilizada de forma otimizada auxiliando na justificativa do investimento.

O número de cavidades, onde é injectado o termo-plástico é variável nos moldes que a empresa utiliza, de acordo com a forma e o tamanho do componente, podendo ser de 4 a 64 cavidades nos moldes em questão. com uma utilização média de 85% das cavidades de todos os moldes.

O tempo de ciclo, definido como o tempo necessário para a formação do número de peças de acordo com as cavidades utilizadas pelo molde, também é variável, sendo o menor 14 segundos e o maior 20 segundos, apresentando um tempo médio de aproximadamente 17 segundos.

O tempo de preparação das máquinas para o processamento é um dado relevante na análise, este tempo é justificado principalmente pelo tempo de resfriamento, limpeza do equipamento e para a instalação do molde, um bloco metálico de tamanho e peso considerável.

4.2 O FLUXO DE INFORMAÇÕES E DE MATERIAIS DO SECTOR DE MOLDAGEM

Com relação à programação das actividades dos componentes que serão consumidos na fábrica, a programação é realizada a partir da previsão de demanda, em posse desta, o PDP determina às quantidades de fabricação dos produtos finais que, por via do MRP (*Materials Requirement Planning*) cumpre as necessidades dos produtos intermediários até chegar nos componentes moldados, que são de forma geral o início do roteiro para a fabricação dos produtos.

Uma ferramenta importante utilizada pela empresa que auxilia todo o processo, tanto na fase de planeamento quanto para a execução das actividades operacionais é o ERP (*Enterprise Resource Plannig*).

Actualmente, o procedimento adoptado para a programação da moldagem tem início no final de cada mês, quando ocorre a verificação da quantidade necessária de componentes a serem moldados para o mês seguinte.

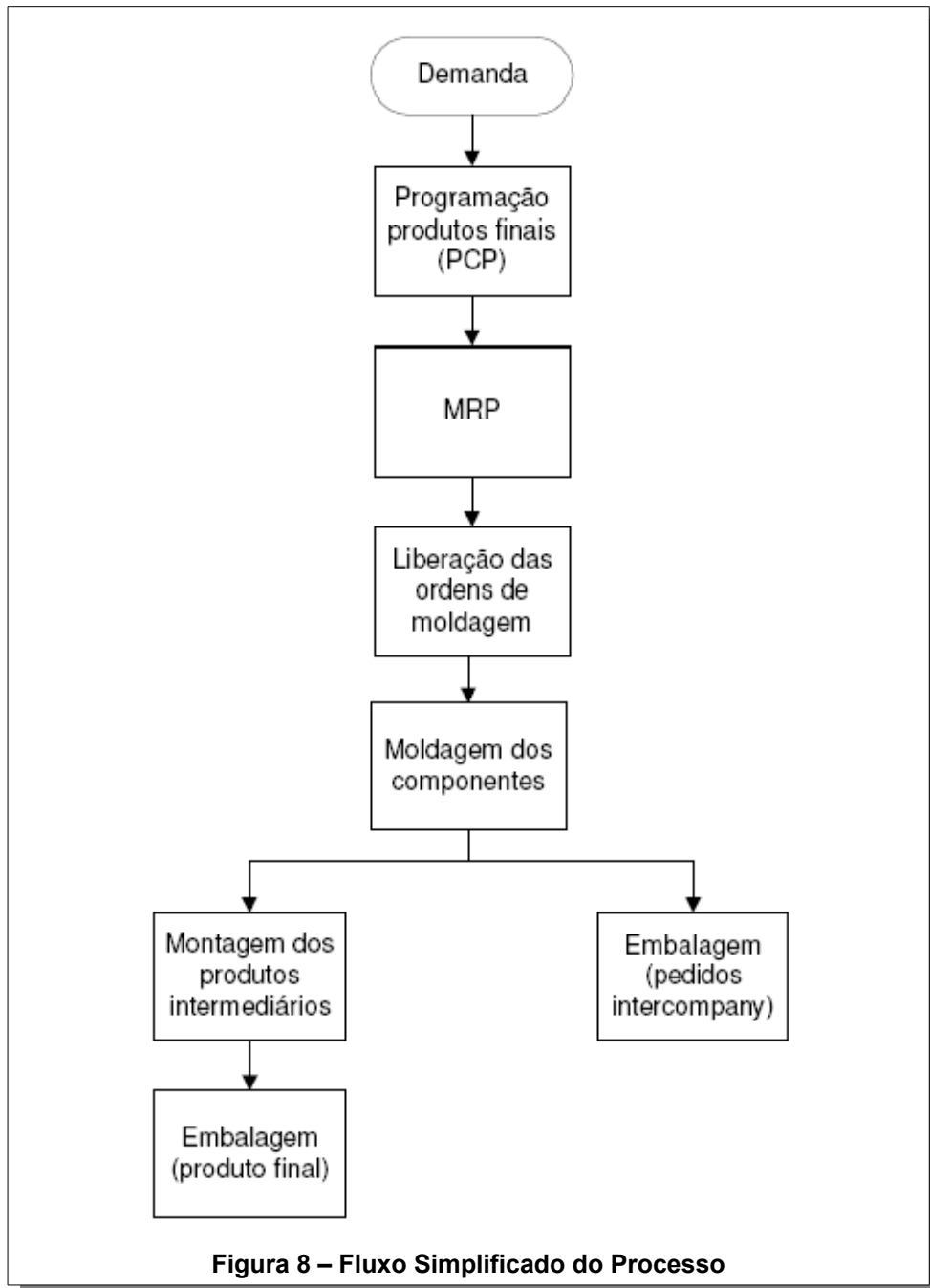
A utilização do ERP (SAP R/3) possibilita que esta etapa seja executada rapidamente, através da visualização de stocks e das necessidades de consumo de cada componente no período em questão, indicada após execução do MRP pelo sistema.

Uma informação importante avaliada neste período é sobre as ordens que foram liberadas, porém não foram cumpridas no mês designado, gerando reprogramações se necessário. A datas programadas na ordem são definidas pelo programador, geralmente de forma intuitiva e deste modo elas não são cumpridas.

São liberadas para o período aproximadamente 40 ordens, porém este número não é conclusivo, pois a variação do tamanho das ordens é muito grande, além de sofrerem a influência dos stocks relativamente altos de produtos moldados e quantidades programadas exageradas nas ordens, devido à falta de domínio do sistema.

4.3 O FLUXOGRAMA DO FLUXO DO INFORMAÇÕES E MATERIAS DO PROCESSO

A Figura 8 apresenta uma representação simplificada, através de um fluxograma, do processo de programação para o sector de moldagem.



4.4 COMPREENSÃO E SÍNTESE DO PROBLEMA

Como reflexo do que foi apresentado, enumeramos os seguintes pontos:

- 1- problemas com ordens inacabadas no período definido,
- 2- necessidades de ordens extras pela ociosidade das máquinas,
- 3- *setup* emergentes para atendimento de necessidades,
- 4- envio de ordens em quantidades equivocadas gerados pela programação e escalonamento inadequados.

4.5 O PLANO DE RESOLUÇÃO:

Para permitir a resolução da programação de tarefas foi necessário implementar as seguintes acções:

- 1- Levantar os dados do sector, de forma que estes possam auxiliar os programadores a dimensionarem as quantidades e datas das ordens, considerando nesta análise todas as ordens liberadas no mês de Agosto.
- 2- Analisar a demanda dos componentes.
- 3- Optimizar e evidenciar a fila de ordens a serem processadas no mês seguinte.
- 4- Obter o escalonamento adequado para posterior controle do processo.

4.6 O MECANISMO DE TRABALHO DO LEKIN

Cada componente a ser moldado por mês gera uma ordem de Produção, assim cada ordem pode ser definida como um *job*.

4.6.1 O TEMPO DE CONVERSÃO DE CADA JOB (Pi)

As ordens são liberadas por quantidades, em unidades a serem produzidas, porém é preciso converter para tempo de processo de cada *job*, assim aplicamos à fórmula que segue:

$$\text{Tempo de processamento (p}_i\text{)} = \frac{\text{Quantidade da ordem}}{\text{Número de cavidades em uso}} \times \text{Tempo de ciclo do molde} \quad (1)$$

Adoptamos os tempos de processo em horas e consideramos todos os tempos inteiros, arredondado para cima, devido a grandeza dos valores e a restrição do *software* Lekin para trabalhar com tempos fraccionados.

4.6.2 A DEFINIÇÃO DO NÚMERO DE MÁQUINAS

Após verificação de que com o universo de máquinas a trabalhar composto por 8 unidades, existe compatibilidade de utilização de moldes para processamento da grande maioria dos *jobs* e que 90% do tempo total de processamento de todos *jobs* do período analisado passaram por este grupo de 8 máquinas.

4.6.3 A DEFINIÇÃO DOS TEMPOS DE SETUP

A definição dos tempos de *setups agrupados de forma a viabilizar o estudo* foram definidos empiricamente pelas informações repassadas por profissionais, uma vez que há um estudo detalhado do sector, como os representados na tabela seguinte:

Tipo	Tempo (h)
<i>Setup 1</i>	2
<i>Setup 2</i>	6

Figura 9 – Tabela dos Tempos de Setup

3.6.4 A CARACTERIZAÇÃO POR STATUS DOS JOBS

Os *jobs* foram caracterizados por *status*, de A a G, conforme mecanismo de trabalho do Lekin, onde componentes semelhantes que utilizam o mesmo molde são classificados pela mesma letra.

Os tempos de *setup* entre *jobs* representados pelo mesmo *status* são do tipo 1 enquanto os que possuem *status* diferentes são do tipo 2, requerendo um maior tempo, conforme a figura 9.

Os *jobs* com *status* de A a F possuem outros semelhantes, enquanto todos os demais foram representados por G.

A figura 10 contém a matriz de *setup que* foi carregada no software LEKIN:

		Para Status						
		A	B	C	D	E	F	G
Do Status	A	2	6	6	6	6	6	6
	B	6	2	6	6	6	6	6
	C	6	6	2	6	6	6	6
	D	6	6	6	2	6	6	6
	E	6	6	6	6	2	6	6
	F	6	6	6	6	6	2	6
	G	6	6	6	6	6	6	6

Figura 10 - Matriz de SetUp

Para a resolução do problema, foi utilizado uma heurística, disponível no Lekin para esta configuração do problema, chamado de *General SB Routine*, classificado como do tipo “*shifting bottleneck*”.

4.7- SIMULAÇÃO DO PROBLEMA

Com relação as máquinas disponíveis podem ser configuradas como máquinas paralelas idênticas (Pm). São máquinas que possuem as mesmas velocidades para processar os mesmos *jobs*.

Existem restrições de processamento de *jobs* em determinadas máquinas, ou seja, o universo de possibilidades de máquinas é reduzido para a maioria dos *jobs*, porém as ferramentas oferecidas pela versão utilizada do *software* não permitem a consideração desta restrição, assim adoptar-se o critério de que qualquer *job* possa ser moldado em qualquer máquina.

Não consideramos nenhuma restrição especial para os *jobs*, desta forma todos eles estavam disponíveis para entrar no sistema desde o início do período, eles não possuíam prioridades e não foram consideradas interrupções no processamento das tarefas, esta última devido a restrições do *software*, apesar de ser possível na realidade.

A função objectivo a ser minimizada é a redução do somatório dos tempos de processo dos componentes moldados (*jobs*) da máquina com o maior carregamento, ou seja, *Makespan* (Cmax).

Assim, esquematicamente podemos descrever o modelo para resolução do problema como P8 // Cmax.

Isto posto, carregou-se o software com os dados necessários e procedeu-se as análises com os resultados obtidos.

5- A ANÁLISE DO ESCALONAMENTO MÊS DE AGOSTO

Máq 01	20			428
005095BJF	2	2	38	36
005093BJF	6	44	303	259
8020069	6	309	407	98
8020067	6	413	448	35
Máq 02	24			424
8010250	2	2	17	15
008982BJF	6	23	34	11
008639BJF	6	40	203	163
008643BJF	6	209	370	161
8020073	2	372	413	41
8020076	2	415	448	33
Máq 03	18			430
008645BJF	6	6	247	241
008641BJF	6	253	361	108
8020075	6	367	448	81
Máq 04	18			430
005363BJF	6	6	231	225
008647BJF	6	237	352	115
8020070	6	358	448	90
Máq 05	24			424
008644BJF	6	6	247	241
005077BJF	6	253	365	112
009007BJF	6	371	435	64
008981BJF	6	441	448	7
Máq 06	24			418
005217BJF	6	6	217	211
8020074	6	223	384	161
005364BJF	6	390	426	36
005001BJF	6	432	442	10
Máq 07	14			432
005028BJF	6	6	368	362
8010251	6	374	400	26
8020068	2	402	446	44
Máq 08	18			418
8011369	6	6	304	298
8020078	6	310	394	84
008983BJF	6	400	436	36

Figura 11 - Resultado Escalonamento mês de Agosto

Na figura o resultado exposto pelo *software* com relação ao escalonamento dos jobs do mês de Agosto coloca em evidência a alocação dos *jobs* nas 8 máquinas disponíveis além dos tempos de *setups* totais por máquina e individuais por *jobs*,

Podemos observar que para a resolução do problema, o algoritmo alocou a maioria dos *jobs* com maior tempo de processo no início, de forma que os *jobs* menores ficam para ser executados no final do mês, o que faz o balanceamento do carregamento das máquinas.

Entre o momento de início e de término dos *jobs* assim como os tempos do processo, não há uma grande variação entre os tempos utilizados para operação somados aos tempos despendidos com *setups* entre as máquinas, ou seja, a distribuição das tarefas resultou em tempos totais relativamente uniformes.

Este facto está ilustrado a seguir no gráfico de Gannt .

5.1- O GRÁFICO DE GANNT DO MÊS DE AGOSTO

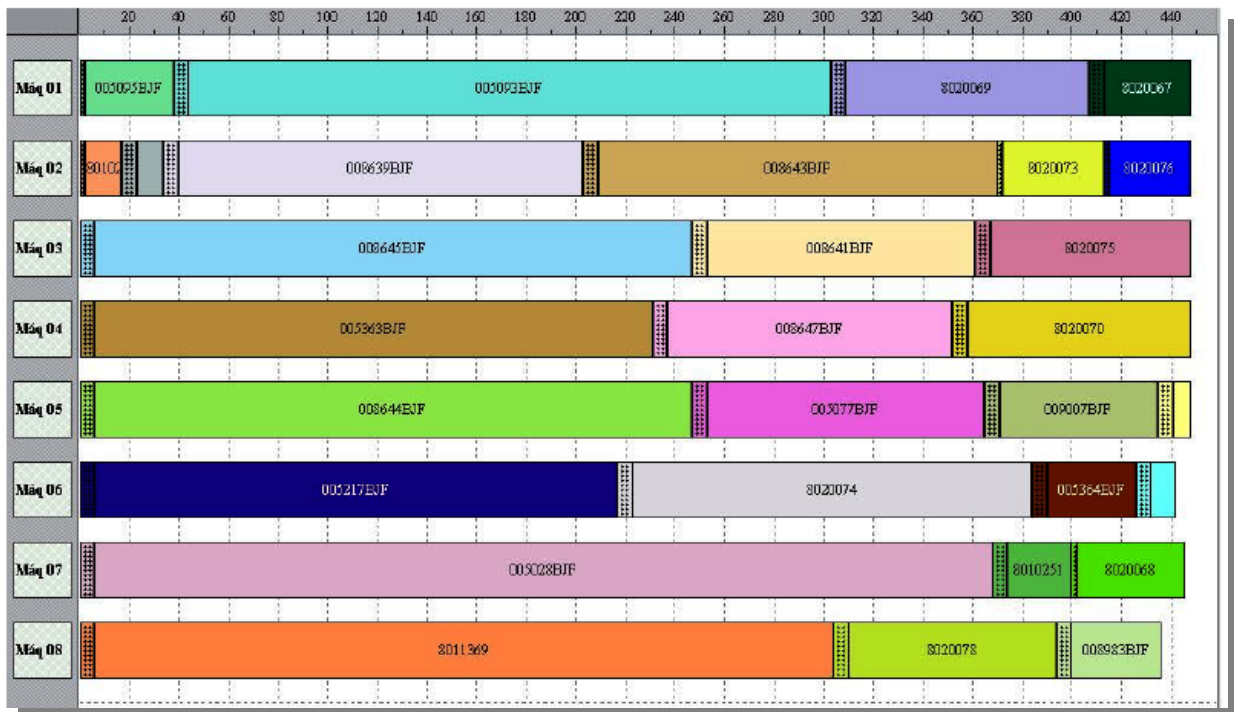


Figura 12 – Gráfico de Gannt do escalonamento do mês de Agosto

5.2- FUNÇÃO OBJECTIVO

Após realizado o escalonamento dos *jobs* pelo software Legin, a minimização do tempo total de processamento da máquina mais carregada “*makespan*” provoca a optimização de todo o processo, o seguinte resultado foi obtido para o mês de agosto conforme segue:

Mês	Makespan (h)
Agosto	448

O sector de moldagem que opera, ininterruptamente, três turnos durante 5,5 dias da semana, possui o tempo disponível total para operação das máquinas de:

$$\begin{aligned} & (\text{número médio de dias considerados para} \\ & \text{programação em um mês}) \times (\text{horas de operação}) \\ & = (22 \times 24\text{h}) = 528 \text{ horas.} \end{aligned}$$

Tempo superior ao necessário para conclusão de todos os *jobs*.

Com o valor da função objectivo “*makespan*” obtido, conclui-se que é possível executar a programação dentro do período, pois o *makespan*, do mês de Agosto, de 448 horas, 85% do tempo total disponível de 528 horas para o cumprimento de todas as ordens.

6- CONCLUSÃO:

A análise da metodologia utilizada neste estudo de caso, bem como do ambiente fabril de planeamento e controlo da produção, permitiu-nos verificar que o escalonamento é de extrema importância para desenvolver e aprimorar o planeamento e programação da produção.

Nas diferentes áreas de actuação softwares do género “MRP” , “ERP” permitem uma resposta rápida e eficaz através da análise por computador das diversas saídas relacionados com o Plano Director de Produção, nomeadamente, identificação do que produzir, datas de produção e as quantidades a produzir, entretanto não refuta a consideração da capacidade finita do sistema.

Neste enfoque, foi observado que existe excesso de capacidade de produção da empresa e que a ocorrência de pedidos em atraso é devido em grande parte à falta de conhecimento de programação das actividades e da necessidade de utilização de um *software* de escalonamento.

Com os valores do *makespan* obtidos, conclui-se que é possível executar a programação dentro do período, considerado o “*makespan*” do mês de Agosto de 448 horas, seria utilizado aproximadamente 85% do tempo total disponível de 528 horas para o cumprimento de todas as ordens.

O restante do tempo estaria disponível para manutenção dado que observou-se que havia ordens que não foram concluídas e tiveram que ser reprogramadas.

Não se pode afirmar exclusivamente que a principal causa deste fato seja a sequenciação inadequada, há outras fontes de dispêndio do tempo produtivo como falta de materiais e problemas mecânicos/eléctricos nas máquinas.

Portanto, podemos considerar as seguinte premissas como verdadeiras:

1- É necessário um maior estudo em relação ao “*setup*” das máquinas do processo produtivo em causa;

2- Para tal o conhecimento tácito das pessoas envolvidas com a produção deve ser transformado em conhecimento explícito para que um modelo heurístico possa ser plenamente formulado e aplicado.

3- As condições anteriores são os principais desafios na implementação de um sistema qualquer de programação e escalonamento por computador.

7- BIBLIOGRAFIA:

- [1] Andresen M, Brasel H., Engelhardt F. ,Werner F. LiSA - A Library of Scheduling Algorithms Handbook for Version 3.0 Otto-von-Guericke Universitat Magdeburg
- [2] Ávila,P. ,Cavaco I.(2011) Manual de Planeamento e Controlo da Produção - ETV
- [3] Beddoe Gareth, Introduction to LEKIN Automated Scheduling, School of Computer Science and IT, University of Nottingham
- [4] Galvão Martins F. (2007) Aplicação de um modelo de Sequenciamento da produção para um sector de moldagem de Artefactos Plásticos - Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Juiz de Fora- MG Brasil
- [5] Lopes, Manuel P. (2011) Técnicas de Apoio a Decisão Manual - CET - ETV
- [6] Lopes, Santos J.(2008) Análise e Optimização do Sequenciamento de Produção de uma empresa de médio porte de embalagens plásticas- Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Juiz de Fora- MG Brasil
- [7] Petrovic S., Legin - School of Computer Science, University of Nottingham
- [8] Pimenta,Barros L. (2008) Optimização no Sequenciamento de Produção em uma fábrica de materiais médico-hospitalares - Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Juiz de Fora- MG Brasil
- [9] Polya G, (2003) Como Resolver Problemas – Gradiva Publicações. Lda.

ANEXO 1 – Base de Dados para o Escalonamento

Código	Tempo (h)
	Agosto
004142BJF	23,00
005001BJF	10,00
005005BJF	9,00
005007BJF	0,00
005020BJF	0,00
005028BJF	362,00
005077BJF	112,00
005093BJF	259,00
005095BJF	36,00
005217BJF	211,00
005345BJF	42,00
005353BJF	45,00
005363BJF	225,00
005364BJF	36,00
008639BJF	163,00
008640BJF	0,00
008641BJF	108,00
008643BJF	161,00
008644BJF	241,00
008645BJF	241,00
008646BJF	0,00
008647BJF	115,00
008981BJF	7,00
008982BJF	11,00
008983BJF	36,00
008986BJF	15,00
008990BJF	0,00
009007BJF	64,00
009151BJF	36,00
009154BJF	30,00
009157BJF	7,00
009158BJF	0,00
009162BJF	0,00
009163BJF	0,00
8010250	15,00
8010251	26,00
8011369	298,00
8020067	35,00
8020068	44,00
8020069	98,00
8020070	90,00
8020073	41,00
8020074	161,00
8020075	81,00
8020076	33,00
8020078	84,00
982778BCU	153,00

Anexo 2

ANÁLISE DA PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO

Em Sistemas Produtivos, as ordens de produção são enviadas para o espaço fabril com as respectivas datas de entregas e planos de processo.

As ORDENS incluem informação como:

- sequências de fabrico
- máquinas a utilizar
- tempos de processamento.

O PROCESSAMENTO em ordens é MUITAS VEZES ATRASADO devido:

- os postos de trabalho estão ocupados
- chegada de novas ordens com maior prioridade
- avarias inesperadas
- tempos de processamento maior que os previstos
- Interacções com a gestão do Planeamento das necessidades de Materiais-MRP

REGRAS DE PRIORIDADE

A programação de operações no AMBIENTE FABRIL é baseada em regras que de PRIORIDADE em relação ao trabalho que ainda é necessário realizar.

- EDD – Garante encontrar o MENOR ATRASO MÁXIMO em máquina única.
- SPT – Garante o MENOR TEMPO de percurso médio em máquina única.
- FCFS – Garante que nenhuma entidade fica eternamente na fila de espera

Regra	Estratégia de escolha da próxima operação
FCFS (<i>first come first serve</i>)	Sequência de chegada
EDD (<i>earliest due date first</i>)	De acordo com a data prometida de entrega
SPT (<i>shortest processing time first</i>)	Prioriza a peça com o menor tempo de processamento em análise
LPT (<i>longest processing time</i>)	Prioriza a peça com o maior tempo de processamento em análise
WSPT (<i>weighted shortest processing time first</i>)	Prioriza a peça com o menor tempo de processamento em análise considerando um peso diferenciado para as tarefas

Quadro 1: Descrição de algumas regras heurísticas de priorização

MEDIDAS DE DESEMPENHO

“*MAKESPAN*” é uma medida de desempenho de sucesso a considerar porque sua minimização traduz simultaneamente:

- Maximização da utilização das máquinas
- minimização do tempo máximo de processamento de um conjunto de tarefas

A FUNÇÃO OBJECTIVO

A Função objectivo de um problema de programação deve:

- Preferir CUMPRIR AS DATAS DE ENTREGA PROMETIDAS, para evitar penalidades financeiras e afectar negativamente a imagem da empresa perante os clientes.
- MINIMIZAR A DURAÇÃO TOTAL DA PROGRAMAÇÃO(MAKESPAM) para que as máquinas fiquem disponíveis para outras tarefas
- MINIMIZAR OS STOCKS de materiais acabados, matérias primas mas também os em curso de fabrico pois representam capital imobilizado.

Anexo 3

Introdução ao LEKIN



Ambiente de Produção

- Single Machine: Máquina Única
 - Parallel Machines: Máquinas Paralelas
 - Flow Shop – Máquinas em série
 - Job Shop – Máquinas em Oficina de fabrico ou célula
 - Flexible Job Shop
 - Flexible Flow shop
- } generalização mais de
uma máquina de cada tipo

Máquina única

EXEMPLO 1:

tarefas		1	2	3	4
set up	p_j	10	10	13	4
data entrega	d_j	4	2	1	12
Peso	w_j	14	12	1	12

4 Máquinas em Série -Flow job


Exemplo 2:

Tarefas	1	2	3	4	5
maquina 1 p_{1j}	5	3	6	4	9
maquina 2 p_{2j}	4	8	2	9	13
maquina 3 p_{3j}	7	8	7	6	5
maquina 4 p_{4j}	8	4	2	9	1

Route




Atribuição-Usó Não-Comercial 2.5 Portugal

O utilizador pode: 

-  copiar, distribuir, exibir e executar a obra
-  criar obras derivadas

Sob as seguintes condições:

-  **Atribuição** — O utilizador deve dar crédito ao autor original, da forma especificada pelo autor ou licenciante.
-  **Usó Não-Comercial** — O utilizador não pode utilizar esta obra para fins comerciais.

Este é um sumário para leigos da [Licença Jurídica \(na íntegra\)](#). [Termo de exoneração de responsabilidade](#)



Atribuição-UsO Não-Comercial 2.5 Portugal

O utilizador pode:



copiar, distribuir, exibir e executar a obra



criar obras derivadas

Sob as seguintes condições:



Atribuição — O utilizador deve dar crédito ao autor original, da forma especificada pelo autor ou licenciante.



Uso Não-Comercial — O utilizador não pode utilizar esta obra para fins comerciais.

Este é um sumário para leigos da [Licença Jurídica \(na íntegra\)](#).

[Termo de exoneração de responsabilidade](#)