

# A Determinação de um lote econômico na Indústria de Plásticos

Reyza Anne Marino Deodato  
Universidade São Francisco  
**reyzadeodato@hotmail.com**

## RESUMO

*A programação de lotes econômicos de produção é um problema comum nas indústrias que possuem processos produtivos em linha. A produção deverá manter, em linha, diferentes produtos em uma seqüencial que é determinada pela sua demanda. Este estudo de caso tem como objetivo promover a integração desta linha produtiva a fim de obter lotes econômicos e determinar os tempos e custos de setup que satisfazem a esta demanda. O estudo levará a estabelecermos lotes produtivos para cada peça, tornando os custos próximos ao ótimo. Os dados aqui demonstrados foram fornecidos por uma indústria injetora de plásticos e poderá ser utilizado por qualquer indústria com características semelhantes.*

*Palavras chave: Lote Econômico de Produção, Programação do Lote, Tamanho do Lote.*

## 1. Introdução

O processo produtivo se inicia com o planejamento e controle da produção e na busca continua por melhores processos produtivos, as tomadas de decisões no PCP evidenciam o dimensionamento e a programação da produção através de lotes. Assim como os grandes gurus da história que desenvolveram teorias e teses visando à melhoria continua dos processos produtivos foram importantes, a programação de lotes econômicos de produção para a indústria produtiva vem sendo, no que diz respeito, a método de otimização de processos. A linha de montagem, utilizada desde 1900 por *Taylor, Fayol, Weber* e outros gênios no sentido de eficiência nos processos produtivos, utilizada atualmente pela indústria, requer uma continuidade. Hoje o planejamento da produção vem sendo o enfoque principal visando à melhoria e redução nos custos de fabricação. Segundo CASTRO E PIZZOLATO (2005) a produção em linha é um processo caracterizado pela fabricação de produtos em altos volumes para estocar e em grande medida padronizados, sendo somente possível produzir um produto por vez. O princípio da produção em massa que prioriza a fabricação de produtos não diferenciados e em grande quantidade não obtêm sucesso atualmente por não tratar os custos de produção de maneira mais importante. A produção em massa visa à maximização da produção a fim de diminuir os custos unitários por produto, porém, deve-se levar em consideração a demanda para esta produção, pois, o custo total poderá ser acrescido. Devido a questões como sazonalidade e altos custos de produção e tempos de preparo (*setup*) é cada vez mais factível que se faça programações do processo produtivo dependentes de seqüências demandadas.

No sistema *Just in Time* criado no modelo Toyota de produção, produzir somente o necessário e no momento necessário, é a solução para eliminar os desperdícios e considera ainda a utilização de lotes para obter uma produção enxuta. O sistema Toyota de produção utilizava uma característica de produzir em pequenos lotes e com setups rápidos a fim de melhorar o processo e otimizá-lo e diminuir os custos.

O processo produtivo é caracterizado pela transformação de matérias primas e informações, os chamados inputs, que através de máquinas e equipamentos mais mão de obra geram produtos e serviços diversos chamados *outputs*. Esses inputs são requeridos através de ordens de produção nos métodos *push system* (empurrado) onde a produção é gerada por demandas mais quantidades demandadas pelo cliente mais a quantidade para armazenamento em estoque, ou *pull system* (puxado) onde a produção tem por uma ordem vinda do controle de produção as quantidades específicas para sua produção. O último método vem sendo o mais utilizado devido à necessidade de não se ter estoques por custos elevados e capacidades de armazenagem baixas e obsoletas, e também porque há eficiência no controle de produção que define o tamanho dos lotes a produzir.

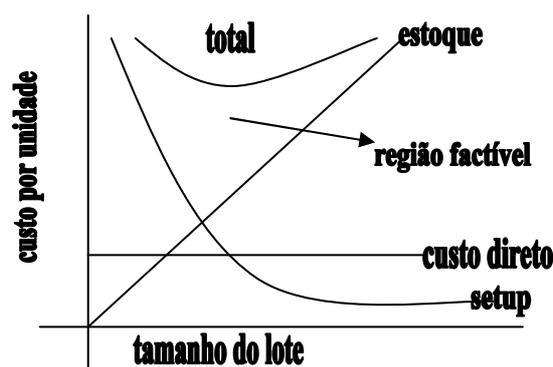
O tempo decorrido entre o momento do início do processo produtivo até o momento em que produto acabado é chamado *lead time* e, neste momento ocorrem custos de preparação e *setup* (manutenção do equipamento), estes se não ajustados podem acarretar em aumento no custo total do produto. Para este processo é necessário a determinação de lotes econômicos de produção, onde a programação determinará as quantidades a serem fabricadas por determinados equipamentos a fim de reduzir o custo de *setup* e a otimização da produção.

A determinação de células de produção também é uma forma de lotes econômicos de produção onde os produtos são ordenados por conjuntos de máquinas que fazem um processo contínuo e as máquinas podem ou não ter ajustes no durante o processo, diminuindo o custo de *setup*. Neste estudo veremos o problema de dimensionamento dos lotes econômicos (*lot sizing*) que deverá determinar a quantidade a produzir ajustada a capacidade produtiva da indústria e, quanto às variáveis de demanda. Esta programação consiste em chegar à solução ótima para a fabricação de lotes que satisfaçam as demandas por determinadas peças e a minimização dos custos de *setup*.

## 2. Os lotes econômicos de produção

*Lot Sizing Economic*, ou simplesmente lote econômico de produção parte do pressuposto de uma necessidade de determinar padrões de produção cíclicos calculados separadamente para cada item da produção onde a demanda é a determinante para o cálculo do tamanho do lote a ser produzido.

Lote Econômico de Produção foi desenvolvido inicialmente cerca de 1913 e em 1978 *Elmaghraby* utilizou em seus estudos o ELSP, *Economic Lot Scheduling Problem*, problema do lote econômico de produção (CASTRO E PIZZOLATO, 2005). Ele equilibra os custos de inventário com os custos de instalação, ao longo de um intervalo de quantidades de lotes. Neste modelo o ELS é de no mínimo o custo total. De acordo com alguns defensores da manufatura enxuta, o ELSP está morto. Eles alegam que todas as operações devem fabricar o que o cliente precisa imediatamente e ajustar os lotes de uma unidade que é infactível.



A figura mostra o modelo de ELS

O modelo calcula o custo total de produção por unidade ao longo de um intervalo de lotes. O lote com menor quantidade por custo unitário é o ideal para a produção ou o lote econômico de produção.

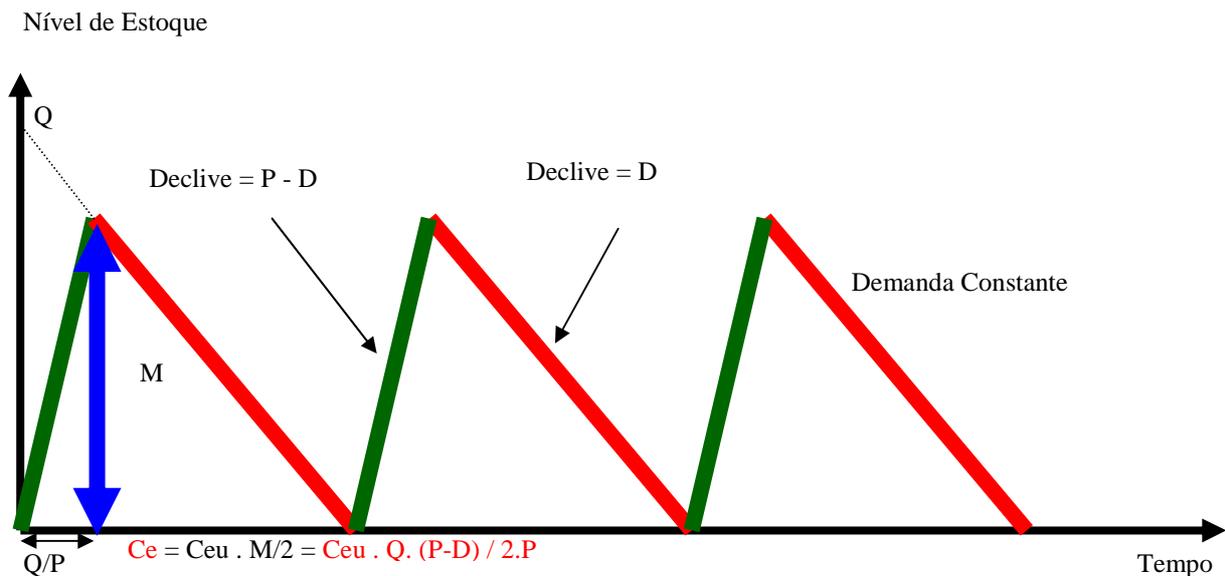
### 3. Determinação do tamanho do lote econômico

Para a determinação do tamanho de um lote econômico deve-se de maneira geral definir uma quantidade cujo custo de fabricação seja minimizado, considerando os custos diretos, insumos, mão de obra, tempo de máquina, e os custos de estoque. Esses custos são: custo de setup (preparação da máquina ou manutenção), custo unitário de produção, e custo de manutenção de estoque. O custo de setup considera-se todo aquele que é necessário para a preparação da máquina para a produção, ou seja, mão de obra diretamente aplicada na preparação da máquina, custo dos materiais e acessórios envolvidos na preparação, e outros custos indiretos. O custo unitário de produção leva-se em conta o consumo de insumos básicos para o processo produtivo como a matéria prima, a mão de obra diretamente aplicada a produção e o tempo das máquinas envolvidas no processo. O custo de manutenção dos estoques tem custo diferenciado, pois, nota-se a finalização do processo produtivo. A posse do estoque tem um custo bastante significativo e nota-se por unidade de tempo e armazenagem. Para a análise deste custo é importante observar o juro do capital imobilizado, o risco de obsolescência do produto, taxas e impostos determinados por sua fabricação, perda por deterioração e as despesas com a instalação, tais como aluguel, despesas administrativas, etc.

### 4. A equação para a determinação do lote ótimo

– Quando a produção é mais rápida que a Demanda obtemos estoques:

$Ce = Ce_u \times \text{est. Médio}$  (onde  $Ce$  é o custo de estoque e,  $Ce_u$  o custo de estoque unitário).



Estoque Médio =  $M/2$

P: Produção (Taxa) (Un./T)

D: Demanda (Taxa) (Un./T)

Q: Tamanho do Lote

$$C_e = C_{eu} \cdot M/2 = C_{eu} \cdot Q \cdot (P-D) / 2 \cdot P$$

Nível Máximo de Estoque = M

Declive de Entada de Estoque = P - D

Ou

Declive de Entada de Estoque = M / (Q/P) = M.P/Q

Igualando:

$$M \cdot P / Q = P - D$$

Isolando:

$$M = Q \cdot (P-D)/P$$

$$\text{Estoque Médio} = M / 2 = Q (P-D) / 2 \cdot P$$

Neste caso, obteremos a seguinte formula para calcular um lote pequeno:

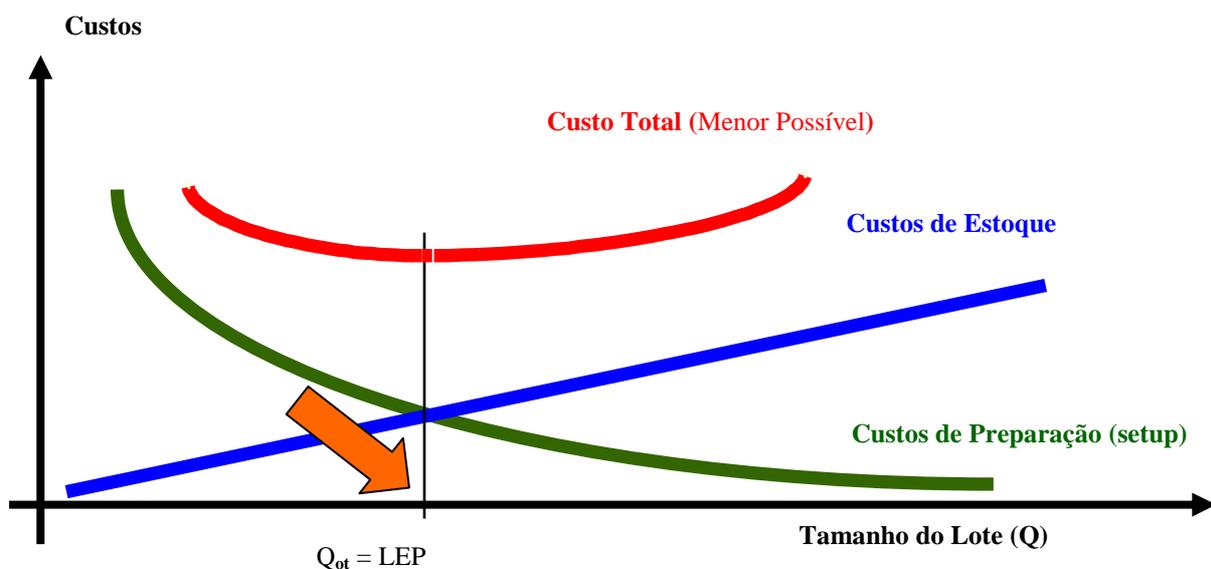
- Levando em conta o custo de preparação

$$C_p = C_{pu} \times NP = C_{pu} \times D/Q$$

$$CT = C_p + C_e$$

$$C_e = C_{eu} \times Q(P-D)/2P$$

$$C_p = C_{pu} \times D/Q$$



Onde a Quantidade econômica será:

$$LEP = \sqrt{\frac{2 \cdot C_{pu} \cdot D}{C_{eu} \cdot \left(1 - \frac{D}{P}\right)}}$$

Onde:

- C<sub>pu</sub> – custo de preparação unitário
- D – demanda
- C<sub>eu</sub> – custo de estoque unitário
- P – quantidade produzida

O LEP é a quantidade ótima a ser programada para um lote, visando à otimização dos custos totais.

O tempo ótimo para o ciclo é definido pela equação do tempo total do ciclo por unidade produzida.

### **5. A programação de lotes independentes**

Calcula o lote econômico de produção por produto individualmente, se possível a programação destes lotes sem interferência (sem solicitações de outras peças na linha), desta forma tem-se a solução ótima. Quanto maior a quantidade de produtos para se programar, maior a probabilidade de que se torne infactível.

### **6. Determinação de estoque médio e máximo**

Se a produção de um determinado produto que requer 100.000 unidades finalizadas e a máquina possui capacidade de apenas 1.000 unidades por dia, serão necessários 10 dias para que a fabricação seja finalizada. Sendo o consumo (demanda) de 500 unidades por dia deste produto o estoque ao final do processo será de 50.000 unidades produzidas.

O estoque mínimo deve ser o limite para a aquisição de suprimento e o máximo deve ser o lote econômico produzido mais o estoque mínimo.

### **7. A aplicação na indústria de injetora de plásticos**

A empresa aqui estudada, esta no setor de injeção de plásticos há sete anos e seu segmento é o de utilidades domésticas possuindo em linha de produção mais de 70 itens. Atualmente, busca por desenvolvimento e investimento, sendo que atualmente tem projeto em construção de nova planta para a ampliação de sua capacidade instaladora onde a aquisição de novo maquinário a impulsionara ao crescimento. Na atual conjuntura econômica e política, o setor de transformados plásticos vem crescendo absurdamente chegando a gerar US\$1.391,70 milhões com exportações e, US\$2.387,50 milhões com as importações no ano de 2008. A exportação de materiais plásticos tem crescido aceleradamente e com este crescimento as empresas deste setor tem buscado melhores desempenhos operacionais. A produção demanda

por ordens do tipo *Push System* (empurrada) onde as ordens são geradas automaticamente a partir de pedidos emitidos pelo departamento comercial. A produção mantém um estoque mínimo armazenada em galpões alugados, para o período de sazonalidade (geralmente ocasionado entre dezembro e fevereiro) e não possui PCP. O sistema emite as ordens para a produção e de maneira seqüencial as máquinas possuem produtos já em produção e há após a produção a separação dos itens demandados no estoque. Sendo assim, não existe nesta indústria uma programação de lotes econômicos de produção onde a demanda por itens gere a quantidade necessária para o início do processo. A estocagem não possui mensuração de custos e controle de quantidade máxima disponível. Se, de um lado, é econômico produzir em maiores quantidades a fim de minimizar custos unitários, de outro há quantidades em fabricação em excesso a uma demanda imediata. A formação de estoques para o período de sazonalidade demanda por encargos financeiros e custos por armazenamento e até a obsolescência do item em estocagem. A necessidade de uma programação para a produção de lotes que satisfaçam a estocagem mínima que determine a quantidade de suprimento a ser demandado e de lotes para cada item a fim de atender a necessidade de demanda e obtenha rotatividade do estoque. Sendo assim, a soma equivalente será  $\text{estoque mínimo} + \text{LEP} = \text{estoque máximo}$ . A determinação dos lotes que satisfaçam a demanda e a necessidade de suprimentos básicos será factível a ponto de chegar à quantidade ótima onde o custo de fabricação e o custo de manutenção e setup sejam minimizados.

A empresa possui um item em específico que aqui trataremos com prioridade, pois, hoje é o que possui maior produtividade e rotatividade de estoque sendo necessária a alocação de recursos extras para a sua disponibilização. Este item possui uma demanda anual de 120.000 peças e seu faturamento gerou no ano de 2008 R\$ 1,4 milhões. Este será o caso estudado onde a quantidade deste item nos mostrará qual o lote que deverá ser produzido para que o mesmo gere redução aos custos próximos ao ótimo. Neste momento a quantidade ideal produzida, será onde o custo de produção se igualará com os de armazenagem e não obterá estoque a ponto de obter depreciação deste item.

## 8. O processo produtivo

Este trabalho está baseado no estudo de caso da produção em lotes para a indústria injetora de plásticos do mesmo segmento. De maneira geral, o processo se inicia com a fabricação e desenvolvimento de moldes em aço para a composição do produto onde será inserido em uma máquina injetora. A matéria-prima é dosada segundo a quantidade a ser injetada no molde e inserida na injetora através de sucção automática da mesma. A máquina aquece os flocos de matéria-prima entre 200 à 250 graus tornando-a moldável. Após, este material é injetado no molde sob pressão fornecida por um êmbolo e leva cerca de 10 segundos para o processo de resfriamento que torna o material rígido novamente. Este material após resfriado é ejetado pela máquina na esteira de saída e retirado da máquina pelo operador. A empresa aqui estudada investe em maquinário de última geração e em tecnologia para preparação de moldes, pois, a terceirização dos mesmos gera aumento significativo nos custos e tempo de entrega avançado além, do alto custo com o seu desenvolvimento que hoje é feito por um dos sócios engenheiro que projeta e os desenvolve. A referida empresa busca por melhores programações de sua produção a fim de obter desenvolvimento.

Utilizaremos para a localização do LEP o item que possui maior demanda dentro da linha de produtos fabricados pela empresa estudada:

$D = 120.000$  peças/mês (continua)

$P = 4.000$  peças/hora = 640.000 peças/mês

$C_{eu} = 0,10$  R\$/mês peças

$C_{pu} = \text{R\$ } 250,00$  / prep.

1 Mês = 160 horas

$$LEP = \sqrt{\frac{2 \cdot C_{pu} \cdot D}{C_{eu} \cdot \left(1 - \frac{D}{P}\right)}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 250 \cdot 120.000}{0,10 \cdot \left(1 - \frac{120.000}{640.000}\right)}}$$

LEP: 27.175 peças a serem fabricadas a fim de otimizar o custo total desta produção.

## 9. Conclusão

Como as fórmulas aqui apresentadas para o cálculo e determinação de um lote econômico de produção são de aplicação simples, é importante salientar que é necessária a compreensão dos elementos envolvidos em uma produção, ou seja, seus custos e tempos de preparação, envolvidos direta e indiretamente para solucionar os problemas de produção.

Este resultado poderá servir de base para equacionar o problema de produção e estoques, sendo importante para a maioria das empresas uma análise das quantidades a serem produzidas e rever as políticas de dimensionamento dos estoques, que levará a um estudo de otimização da rotatividade dos produtos mais adequadamente e rapidamente para redução de custos com estocagem.

A utilização de lotes econômicos de produção nas empresas contribui para a determinação de quantidades a ser pedidas, no que se refere às compras, e a cálculos de variação dos preços, sendo evidente que os custos estão otimizados, o gestor poderá obter maior flexibilidade na tomada de decisões de curto e médio prazo. Finalmente a alocação de lotes em uma produção, levará a compreensão da fixação das quantidades adequadas para produzir de forma mais eficiente e econômica para as empresas.

## Referências

CARAVILLA, M. A. Lot-Sizing Lotes Econômicos de Produção. FEUP, 1996.

CASTRO, J. G.; PIZZOLATO, N. D. A Programação de Lotes Econômicos de Produção (ELSP) com tempos e custos de setup dependentes da sequencia: um estudo de caso. Revista Gestão Industrial, v. 01 n. 03, 2005.

MAXIMIANO, A. C. A. Teoria Geral da Administração. São Paulo: Ed. Atlas, 2006.

SCHOEPS, Wolfgang. Lote Econômico de Produção: conceito e pratica. Revista de Administração de Empresas, v. 4.

SILVA, A. L. da.; RENTES, A. F.; GANGA, G. M. D. Uma Análise Crítica dos modelos de layouts para adequação em sistemas de produção enxuta. In: XV Simpósio de Engenharia de Produção (SIMPEP), 2008. Anais, simpep 2008.

TOLEDO, C. F. M.; FRANÇA, P. M.; MORABITO, R.; KIMMS, A. Multi-Population Genetic Algorithm to Solve the Synchronized and Integrated Two-Level Lot Sizing and Scheduling Problem. In: Encontro de Engenharia de Produção, Anais...2000.

TOSO, E. A. V.; MORABITO, R. Otimização no dimensionamento e seqüenciamento de lotes de produção: estudo de caso numa fabrica de rações. Revista Gestão e Produção, v.12 n.02, 2005.

ABIPLAST Análise da Balança Comercial do Total dos Produtos Transformados de Plástico. Disponível em: <<http://www.abiplast.org.br>>. Acesso em: 11 de maio de 2009.